This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.
+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.
+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.
+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

HARVARD UNIVERSITY

Mineralogical Laboratory,

UNIVERSITY MUSEUM.

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

BULLETIN

DE LA

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE MINÉRALOGIE

Digitized by Google

TOURS. — IMPRIMERIE DESLIS FRÈRES.

Digitized by Google

BULLETIN

DE LA

SOCIÉTÉ FRANÇAISE

DE

MINÉRALOGIE

(ANCIENNE SOCIÉTÉ MINÉRALOGIQUE DE FRANCE)

Fondée le 21 Mars 1878

RECONNUE COMME ÉTABLISSEMENT D'UTILITÉ PUBLIQUE PAR DÉCRET
DU 2 FÉVRIER 1886

TOME VINGT ET UNIÈME

PARIS
LIBRAIRIE POLYTECHNIQUE, BAUDRY ET Cie, ÉDITEURS
15, rue des Saints-Pères, 15
MAISON A LIÈGE, RUE DES DOMINICAINS, 7

1898

Digitized by Google

Digitized by Google

Bind covers in back of vol.

ÇAISE

OGIE

IBRES

lécédés.

MILLER (W.-H.).
ADAM.
KOBELL (Fr. von).
SMITH (Lawrence).
SELLA (Q.).
RATH (G. vom).
DOMEYKO (I.).
LEUCHTENBERG (S. A. I. le grand-duc Nic. de).
KOKSCHAROW (N. de).
SCACCHI (A.).
SZABO (J.).
MARIGNAC (Ch. de).
DANA (J.-D.).
DES CLOIZEAUX.
SCHRAUF (A.).

Membres honoraires.

DAMOUR (A.), membre de l'Institut, 10, rue Vignon, Paris.

FOUQUÉ, membre de l'Institut, professeur d'Histoire naturelle des corps inorganiques au Collège de France, 23, rue Humboldt, Paris.

FRIEDEL (Ch.), membre de l'Institut, professeur de Chimie organique à la Faculté des Sciences, conservateur des collections de Minéralogie à l'Ecole des Mines, 9, rue Michelet, Paris.

LANG (V. von), professeur à l'Université de Vienne.

MASKELYNE (N. S. Esqre), membre de la Chambre des Communes, Basset Down House, Swindon, Wilts (Angleterre).

Digitized by Google

NORDENSKIŒLD (Baron A.-E.), membre de l'Académie des Sciences, Stockholm.

RAMMELSBERG (Prof. Dr C.), Geh. Bergrath, Gr. Lichterfelde bei Berlin.

ROSENBUSCH (Dr H.), professeur à l'Université de Heidelberg.

TOPSŒ (Dr H.), professeur à l'École militaire de Copenhague.

TSCHERMAK (Dr G.), professeur à l'Université de Vienne.

Membres perpétuels.

BERTRAND (Émile), ingénieur, 2, rue de la Planche, Paris.

INSTITUT impérial des Mines de Saint-Pétersbourg.

MAUROY (de), ingénieur, à Vassy (Haute-Marne).

SEIDEL Y AYMERICH (José), professeur à la Faculté des Sciences de la Havane (Cuba).

SPECOLA VATICANA, à Rome.

SOCIÉTÉ impériale minéralogique de Saint-Pétersbourg.

Membres ordinaires (1).

m AMARAL (Fr. José de Santa Maria), mostero de S. Bento, à Rio-de-Janeiro.

AMIOT (H.), ingénieur en chef des Mines, attaché à la Direction des Chemins de fer de P.-L.-M., 4, rue Weber, Paris.

ARMACHEWSKI (P.), professeur à l'Université de Kiew (Russie).

ARZRUNI (Dr), professeur à l'École polytechnique d'Aix-la-Chapelle.

ATANASESCO (N.), docteur ès sciences, professeur de Chimie à la Faculté de Médecine, Bucharest.

AUGÉ, propriétaire de mines, 32, boulevard du Jeu-de-Paume, Montpellier.

BÄCKSTRÖM (Dr H.), professeur à la Hogskola, Stockholm.

BARET (Ch.), 23, rue Chateaubriand, Nantes.

m BARROIS (Charles), professeur-adjoint à la Faculté des Sciences, Lille.

BAUER (Dr Max), professeur à l'Université, Marburg (Hesse).

(1) La lettre *m* indique les membres à vie.

Digitized by Google

BEL, ancien élève de l'École polytechnique, ingénieur civil des Mines, 110, boulevard Malesherbes, Paris.

BENIER, ingénieur, Combe-la-Ville (Seine-et-Marne).

BENSAUDE (Alf.), professeur à l'Institut industriel, 66, rue Ferreiro Borges, Lisbonne.

BERGERON (Jules), professeur de Géologie et de Minéralogie à l'Ecole centrale, 157, boulevard Haussmann, Paris.

BERTRAND (Marcel), membre de l'Institut, ingénieur en chef des Mines, professeur à l'Ecole des Mines, 101, rue de Rennes, Paris.

BIBLIOTHÈQUE de l'Université de Clermont-Ferrand.

BIBLIOTHÈQUE de l'Université de Grenoble.

BIBLIOTHÈQUE de l'Université de Louvain (Belgique).

BIBLIOTHÈQUE de la K. Technische Hochschule de Stuttgart.

BIZARD (R.), 23, rue des Arènes, Angers.

BLONDEL (Maurice), licencié ès sciences, 286, boulevard Raspail, Paris.

BLOT (l'abbé), missionnaire apostolique, docteur en théologie, docteur ès lettres, 31, rue Dombasle, Paris.

BOMBICCI PORTA (Louis), professeur et directeur du Musée de Minéralogie, à l'Université de Bologne (Italie).

BOUBÉE (Madame E.), 3, boulevard et place Saint-André-des-Arts, Paris.

BOUCHARD (Dr), membre de l'Institut, 174, rue de Rivoli, Paris.

m BOUCHARDAT (Gust.), professeur à l'Ecole de Pharmacie, 108, boulevard Saint-Germain, Paris.

BOURGEAT (l'abbé), docteur ès sciences, professeur à la Faculté libre des Sciences de Lille.

m BOURGEOIS (Léon), répétiteur à l'École polytechnique, assistant au Muséum d'histoire naturelle, 1, boulevard Henri IV, Paris.

BRAUNS (R.), professeur à l'Université de Giessen.

BRÉON (René), ingénieur civil, Semur (Côte-d'Or).

BÜCKING (Dr Hugo), professeur à l'Université de Strasbourg.

m BUREAU (Dr Louis), professeur à l'Ecole de Médecine, directeur du Musée d'histoire naturelle, 15, rue Gresset, Nantes.

Digitized by Google

CARNOT (Ad.), membre de l'Institut, inspecteur général des Mines, professeur à l'Ecole des Mines, Paris.

CAYEUX, préparateur à l'Ecole des Mines, Paris.

CESARO (G.), professeur de Minéralogie à l'Université de Liège, Trooz (Belgique).

CHABRIÉ (C.), docteur ès sciences, chef du Laboratoire de chimie de la Clinique des voies urinaires, 11, rue Bara, Paris.

CHESTER (A.), professeur au Rutgers College, New Brunswick, New-Jersey (Etats-Unis).

CHURCH (A.-H.), F. R. S., professeur de Chimie, Shelsley, Kew Gardens, Surrey (Angleterre).

COHEN (Dr E.), professeur à l'Université, 4, Rossmarkt, Greifswald (Allemagne).

COLANI (A.), 19, rue Vauquelin, Paris.

COLORIANO (P. Ant.), docteur ès sciences, directeur de l'Ecole normale d'instituteurs, Bucharest (Roumanie).

m CORNU (A.), membre de l'Institut, professeur de Physique à l'Ecole polytechnique, 9, rue de Grenelle, Paris.

COSSA (Alfonso), professeur de Chimie à l'Ecole d'application des ingénieurs (Valentino), Turin.

COSTA-FORO, directeur des Mines de Berca-Vaclète, 3, allée de la Métropole, à Bucharest.

m COSTA-SENA (J. da), ingénieur des Mines, Ouro-Preto, Minas Geraës (Brésil).

COUTTOLENC, professeur à l'École professionnelle, 55, rue Libergier, Reims.

CUMENGE, ingénieur en chef honoraire des Mines, 33, rue de la Bienfaisance, Paris.

CURIE (Pierre), professeur à l'Ecole de Physique et de Chimie, 13, rue des Sablons, Sceaux (Seine).

DAMOUR (Emilio), chef des travaux de Chimie à l'École des Mines, Paris.

DELAGE (A.), professeur à la Faculté des Sciences de Montpellier.

DEMARTY, Directeur du Comptoir géologique du Plateau Central, 23, avenue de Royat, Clermont-Ferrand.

DESHARNOUX, graveur, 69, rue Monge, Paris.

DOELTER (Dr Corn.), professeur de Minéralogie à l'Université de Gratz (Autriche).

Digitized by Google

DUFET (H.), maître de conférences de Minéralogie à l'Ecole normale supérieure, 35, rue de l'Arbalète, Paris.

DUPARC (Louis), professeur de Minéralogie à l'Université de Genève.

DURANDIÈRE (Arthur de la), 62, rue des Saints-Pères, Paris.

m EGLESTON (Dr), professeur de Minéralogie à l'Ecole des Mines, 35, Washington Square, New-York.

FERRAND (Lucien), préparateur de Chimie à l'Ecole polytechnique, 9, rue Villersexel, Paris.

FLAMAND, chargé de conférences à l'Ecole des Sciences d'Alger, Alger-Mustapha.

FRIEDEL (Georges), ingénieur des Mines, professeur à l'Ecole des Mines de Saint-Etienne (Loire).

m FROSSARD (le Pasteur Ch.), 14, rue Ballu, Paris; et à Bagnères-de-Bigorre.

GAUBERT (Paul), docteur ès sciences, préparateur de Minéralogie au Muséum d'histoire naturelle, 79 *bis*, rue Monge, Paris.

GENTIL (Louis), préparateur au Collège de France, Paris.

GLINKA (Serge), privat-docent, cabinet de Minéralogie, Université impériale de Saint-Pétersbourg.

GOGUEL, docteur ès sciences, maître de conférences de Minéralogie à la Faculté des Sciences, 52, cours d'Alsace-et-Lorraine, Bordeaux.

m GOLDSCHMIDT (Dr V.), professeur de Minéralogie et Cristallographie à l'Université, 9, Gassbergstrasse, Heidelberg.

GONNARD (F.), ingénieur des hospices civils de Lyon, 38, quai de Vaise, Lyon.

GORCEIX (Henri), ex-directeur de l'Ecole des Mines d'Ouro-Preto (Brésil), à Mont-sur-Vienne, par Bujaleuf (Haute-Vienne).

GOSSELET, professeur de Géologie à la Faculté des Sciences, 18, rue d'Antin, Lille.

m GRAMONT (Arnaud de), docteur ès sciences, 81, rue de Lille, Paris.

GRATTAROLA, directeur du Musée et Laboratoire de minéralogie de l'Institut royal des Etudes supérieures, 2, piazza San Marco, à Florence.

Digitized by Google

GREGORY (James), 88, Charlotte Street, Fitzroy square, Londres.

GROTH (Dr Paul), professeur à l'Université, Mineralogische Sammlung Akademie, Munich (Bavière).

GUYOT DE GRANDMAISON (E.), 23, rue Clairat, Bergerac (Dordogne).

HAUTEFEUILLE, membre de l'Institut, professeur de Minéralogie à la Faculté des Sciences, 28, rue du Luxembourg, Paris.

HINTZE (Dr C.), professeur de Minéralogie à l'Université, Neue Mathiastrasse, 8, Breslau.

HUSSAK, Commission géologique de Sâo Paulo (Brésil).

INSTITUT minéralogique de l'Université de Czernowitz (Autriche).

JANNETTAZ (Ed.), maître de conférences à la Faculté des Sciences, assistant au Muséum d'histoire naturelle, 86, boulevard Saint-Germain, Paris.

JANNETTAZ (Paul), ingénieur des Arts et Manufactures, répétiteur à l'Ecole centrale, 68, rue Claude-Bernard.

JOFFRE (J.), chimiste, 60, rue de Bondy, Paris.

JUNGFLEISCH, membre de l'Académie de Médecine, professeur à l'Ecole de Pharmacie et au Conservatoire des Arts et Métiers, 74, rue du Cherche-Midi, Paris.

KAMPMANN (Alfred), Epinal.

KLEIN (Dr Carl), professeur à l'Université de Berlin, Geh. Bergrath, Am Carlsbade, 2, Berlin-W.

KRENNER (Dr), professeur de Minéralogie au National Museum, Buda-Pest.

KUNZ (Georges-F.), chez MM. Tiffany et Co, Union Square, New-York City.

KUSS (H.), ingénieur en chef des Mines, rue Victor-Hugo, 21, Douai (Nord).

m LACROIX (A.), professeur de Minéralogie au Muséum d'histoire naturelle, 8, quai Henri IV, Paris.

LAPPARENT (Alb. de), membre de l'Institut, professeur de Géologie et Minéralogie à l'Institut catholique, 3, rue de Tilsitt, Paris.

m LARTET (L.), professeur à la Faculté des Sciences de Toulouse, 87, rue Saint-Michel, Toulouse.

Digitized by Google

LE BLANC, 3, rue Guénégaud, Paris.

LE CHATELIER (H.), ingénieur en chef des Mines, professeur à l'Ecole des Mines et au Collège de France, 73, rue Notre-Dame-des-Champs, Paris.

LECOQ DE BOISBAUDRAN, correspondant de l'Institut, Cognac ; et 36, rue de Prony, Paris.

LEWIS (W.-J.), New Museum, Cambridge (Angleterre).

LIEBISCH (Dr), professeur à l'Université, Göttingen (Prusse).

LIMA (J. do Rego), ingénieur des Mines, 14, rue de Covento de Jesus, Lisbonne.

LIMUR (Cte de), hôtel de Limur, Vannes (Morbihan).

LINDSTRŒM (G.), adjoint au Riks-Museum, Stockholm.

LIPPMANN, ingénieur, 36, rue de Chabrol, Paris.

m LIVERSIDGE, professeur à l'Université de Sydney, Nouvelle Galles du Sud (Australie).

LOVISATO (Domenico), professeur à l'Université de Cagliari (Sardaigne).

LUEDECKE (Dr Otto), professeur à l'Université, 35, Wilhelmstrasse, Halle s. Saale, Thuringe.

MASSOULIER, préparateur à l'École normale supérieure.

MATTIROLO (Ettore), ingénieur des Mines, directeur du Laboratoire chimique de l'Office royal géologique des Mines, Rome.

MEUNIER (Stanislas), professeur de Géologie au Muséum d'histoire naturelle, 7, boulevard Saint-Germain, Paris.

m MICHEL (Léopold), répétiteur à la Faculté des Sciences de Paris, 128, avenue de Neuilly, Neuilly (Seine).

m MICHEL LÉVY (A.), membre de l'Institut, ingénieur en chef des Mines, directeur du service de la carte géologique de France, 26, rue Spontini, Paris.

MIEG (Mathieu), 48, avenue de Modenheim, Mulhouse.

m MIERS (Henry-A.), professeur au Magdalen College, Oxford.

m MIRABAUD (Paul), banquier, 8, rue de Provence, Paris.

MOREL (J.), chef des travaux chimiques à la Faculté des Sciences de Lyon, 33, rue de la Liberté, Lyon.

MOSES (Dr Alf. J.), professeur de Minéralogie à l'École des Mines, Columbia University, New-York.

MUNIER-CHALMAS, professeur de Géologie à la Faculté des Sciences, 75, rue Notre-Dame-des-Champs, à Paris.

Digitized by Google

MUSEUM d'histoire naturelle de Hambourg.

NENTIEN, ingénieur des Mines, 15, rue Monselet, à Bordeaux.

ŒBBEKE (Dr K.), professeur de Minéralogie à Technische Hochschule, Munich (Bavière).

OFFRET (Albert), professeur de Minéralogie à la Faculté des Sciences de Lyon, 135, avenue de Saxe, Lyon.

OUROCHEWICH (Sawa), professeur à l'École des Hautes-Etudes de Belgrade (Serbie).

PACHECO DO CANTO E CASTRO (Eug. Vaz), professeur au lycée de Ponta Delgada, île de Sâo-Miguel (Açores).

PAVOT, intendant militaire, 36 *bis*, rue Ballu.

PISANI, chimiste, 8, rue de Furstenberg, Paris.

PORCHER (l'abbé), professeur au Petit Séminaire, 19, rue Notre-Dame-des-Champs, Paris.

m POTIER, membre de l'Institut, ingénieur en chef des Mines, professeur honoraire à l'Ecole polytechnique, 89, boulevard Saint-Michel, Paris.

m POUYANNE, inspecteur général des Mines, à Alger.

m RICHARD (Ad.), préparateur à l'École des Mines, 73, rue du Cardinal-Lemoine, Paris.

ROUX (Léon), professeur de Chimie à la Faculté des Sciences de Poitiers.

RUTLEY (Frank), professeur de Minéralogie au Royal College of Science, 93, Edith Road, West-Kensington, Londres.

m SAUVAGE (Ed.), ingénieur des Mines, 14, rue Eugène-Flachat (place Pereire), Paris.

m SAXE-COBOURG-GOTHA (S. A. I. le Prince dom Pedro de).

SCACCHI (E.), professeur à l'Université de Naples.

SCHULTEN (Dr Aug. de), professeur à l'Université de Helsingfors (Finlande).

SEHERR THOSS (le baron M. de), Hohenzollernstrasse, 16, Berlin.

SELIGMANN (G.), 18, Schlossrondel, Coblentz.

SELLE (vicomte de), au château de Fontienne, près Forcalquier, (Basses-Alpes).

SELWYN, ancien directeur du service géologique du Canada, Museum and Office, Sussex street, Ottawa.

SKOUPHOS (Dr Théodose), Conservateur du Musée minéralogique et paléontologique, 9, rue Navarinos, Athènes.

Digitized by Google

SORET (Charles), professeur de physique à l'Université de Genève, 22, rue Saint-Antoine.

STEFANESCO (G), directeur du Musée d'histoire naturelle, 8, Strada Verde, Bucharest.

STÖBER (Dr H.), répétiteur de minéralogie à l'Université, 2, boulevard Léopold, Gand.

STRUEVER, professeur de Minéralogie à l'Université de Rome.

STUER, 40, rue des Mathurins, Paris.

TAUB (Louis), 10, rue Lafayette, Paris.

TENNE (Dr C.-A.), privat-docent à l'Université et conservateur au Musée de Berlin, 18, Stegeitzer Strasse, Berlin, W. 35.

TERMIER (Pierre), ingénieur des Mines, professeur de Minéralogie à l'Ecole des Mines, 164, rue de Vaugirard, Paris.

USSING (Dr N.-V.), professeur à l'Université de Copenhague.

UZIELLI (Gustave), professeur de Géologie et de Minéralogie à l'Ecole d'application des ingénieurs, 3, via Goito, Turin, (Italie).

VERNADSKY (Vladimir), privat-docent à l'Université de Moscou.

WALLERANT, maître de conférences à l'École normale supérieure.

WATTEVILLE (Charles de), licencié ès sciences, 96, avenue Victor-Hugo, Paris.

WICHMANN (Dr A.), professeur à l'Université d'Utrecht (Pays-Bas).

WIEDEMANN (Dr E.), professeur à l'Université d'Erlangen.

WINCHELL (N.-H.), géologue de l'État du Minnesota, Minneapolis.

WOULF (Georges), privat-docent à l'Université de Varsovie.

WULFING, professeur à l'Université de Tübingen (Wurtemberg).

WYROUBOFF (Grégoire), 20, rue Lacépède, Paris.

ZEGERS (Louis-L.), ingénieur des Mines, 57, Chacabuco, Santiago (Chili).

ZUJOVIC (J.-M.), professeur de Géologie à l'École supérieure de Belgrade (Serbie).

Digitized by Google

Bureau de la Société

(Année 1898).

MM. LE CHATELIER, Président.
WALLERANT, CUMENGE, Vice-Présidents.
L. BOURGEOIS, Trésorier.
P. GAUBERT, Secrétaire pour la France.
Ad. RICHARD, Secrétaire pour l'Étranger.
M. BLONDEL, Archiviste.

Membres du Conseil de la Société

(Année 1898).

MM. BERTRAND,
CARNOT,
DUFET,
MM. HAUTEFEUILLE,
TERMIER,
WYROUBOFF.

Digitized by Google

BULLETIN

DE LA

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE MINÉRALOGIE

ANNÉE 1898. — BULLETIN N° 1.

Compte rendu de la séance du 13 janvier 1898.

PRÉSIDENCE DE M. P. TERMIER.

M. le Président donne la parole à M. le Trésorier pour la lecture de son rapport.

Rapport du Trésorier.

MESSIEURS ET CHERS COLLÈGUES,

Votre Trésorier a l'honneur de vous soumettre les tableaux suivants, relatifs aux comptes de l'année 1897, arrêtés au 31 décembre dernier :

Digitized by Google

COMPTES DE L'EXERCICE 1897.

Recettes.

Encaisse au 1er janvier 1897	Fr.	4.023 41
Cotisations arriérées		1.380 »
— de l'année.		1.560 45
— anticipées.		40 »
— perpétuelles		500 »
Allocation ministérielle.		600 »
Abonnements et vente du *Bulletin*		1.458 05
Rentes sur l'Etat français 3 0/0 et 3 1/2 0/0		288 »
Intérêts du compte de chèques à la Société Générale, à 1/2 0/0.		3 »
Intérêts des sommes déposées à la Caisse nationale d'Epargne, à 2 1/2 0/0.		49 53
TOTAL.	Fr.	9.902 44

Dépenses.

Bulletin, impression.	Fr.	3.314 05
— gravure		856 »
— rédaction et extraits		250 »
— rédaction de la deuxième table décennale.		300 »
Administration, allocation au garçon de salle. . . .		200 »
— gratifications aux concierges et au facteur de la poste		23 »
Administration, frais de bureau.		126 10
— dépenses exceptionnelles, couronne pour les obsèques de M. Des Cloizeaux		127 60
Bibliothèque, abonnements		179 »
— assurance contre l'incendie.		26 75
Achat de 15 francs de rente 3 0/0 perpétuel		515 77
Société générale, droits de garde, timbres, etc. . .		5 70
Solde en caisse au 1er janvier 1898		3.978 47
TOTAL.	Fr.	9.902 44

Digitized by Google

Par suite de l'encaissement d'une cotisation perpétuelle à 500 francs, et de l'achat de rente 3 0/0 pour une somme à peu près égale, notre fonds de réserve a subi, cette année, un accroissement ; les valeurs qui le constituent, évaluées au cours du 31 décembre dernier, se composent de :

152 francs rente française 3 0/0 perpétuel à 103 fr. 05	Fr.	5.221 20
151 francs rente française 3 1/2 0/0 perpétuel à 107 fr. 05		4.616 27
TOTAL.	Fr.	9.837 47

Cette somme, étant jointe à l'encaisse au 1er janvier 1898, forme un actif immédiatement réalisable de Fr. 13.815,94.

Il ne nous reste plus qu'à vous proposer, Messieurs, le projet de budget suivant pour le présent exercice :

PROJET DE BUDGET POUR 1898.

Recettes.

Reprise sur l'encaisse précédente	Fr.	2.250	»
Cotisations.		2.000	»
Allocation ministérielle		600	»
Intérêts du fonds de réserve		299	25
Abonnements et vente du *Bulletin*		1.050	75
TOTAL.	Fr.	6.200	»

Digitized by Google

Dépenses.

Bulletin, impression.	Fr.	3.500	»
— gravure.		500	»
— rédaction et extraits.		500	»
— impression et rédaction de la deuxième table décennale		350	»
Administration, allocation au garçon de salle. . .		200	»
— frais divers.		150	»
Bibliothèque, abonnements, reliures, assurances, etc.		300	»
Réserve et imprévu.		700	»
TOTAL.	Fr.	6.200	»

Le Trésorier,
L. BOURGEOIS.

RAPPORT DE LA COMMISSION DE COMPTABILITÉ.

Le 13 janvier 1898, les membres de la Commission de Comptabilité se sont réunis pour examiner les comptes de l'année 1897.

Ils en ont constaté la parfaite exactitude, et ils proposent à la Société de les adopter et de voter des remerciements à M. le Trésorier.

Signé :
Ed. JANNETTAZ, Fr. WALLERANT, DE WATTEVILLE.

M. le Président met aux voix cette proposition ; elle est adoptée à l'unanimité.

Il est ensuite procédé aux élections.

Digitized by Google

Le dépouillement du scrutin donne les résultats suivants :

Présidence : M. Le Châtelier, 36 voix ; M. Georges Friedel, 15 voix.

M. Le Châtelier est élu Président pour l'année 1898.

Vice-Présidence : MM. Wallerant et Cumenge, ayant obtenu 45 et 44 voix, sont élus Vice-Présidents.

MM. E. Bertrand, Carnot et Termier sont élus Membres du Conseil, en remplacement de MM. Fouqué, Lacroix et Michel.

M. Bourgeois est réélu Trésorier.

M. Ad. Richard est réélu Secrétaire pour l'étranger.

M. Blondel est réélu Archiviste.

Le Conseil est ainsi composé pour l'année 1898 :

MM. Le Châtelier, président ; F. Wallerant et Cumenge, vice-présidents ; L. Bourgeois, trésorier ; P. Gaubert et Ad. Richard, secrétaires ; Blondel, archiviste ; Bertrand, Carnot, Dufet, Hautefeuille, Termier, membres du Conseil.

M. Termier, avant de céder le fauteuil de la présidence à M. Le Châtelier, adresse de nouveau ses remerciements à la Société. M. Le Châtelier remercie la Société de l'honneur qu'elle lui a fait en l'appelant à présider ses séances.

M. le Président annonce une présentation.

M. A. Lacroix offre à la Société le deuxième fascicule du tome II de sa *Minéralogie de la France et de ses colonies.*

Sur l'eau des zéolithes

Par M. Georges Friedel.

Dans de précédentes communications (1) j'ai montré que l'eau des zéolithes est liée au silicate par une combinaison d'un genre tout particulier, très différente de celle que l'on

(1) *Bull. Soc. Min.*, t. XIX, nos 1, 4 et 8 ; 1896.

Digitized by Google

peut observer dans les hydrates salins proprement dits. Les caractères principaux qui distinguent ce genre de liaison sont les suivants :

1° L'eau peut être éliminée sans que le réseau cristallin soit détruit, sans que la biréfringence disparaisse ; son élimination, qui est d'ailleurs réversible, n'entraîne que des modifications continues et réversibles des propriétés physiques du cristal (densité, biréfringence). Il est donc manifeste qu'elle ne joue dans l'édifice cristallin qu'un rôle accessoire et que la disposition du réseau est déterminée par le silicate anhydre. Rien de semblable ne s'observe pour les sels hydratés, dont les cristaux sont entièrement détruits par le départ de l'eau.

2° Cette eau, une fois éliminée, peut être remplacée par n'importe quelle substance gazeuse ou liquide, de fonction chimique quelconque (ammoniaque, alcool, gaz carbonique, hydrogène sulfuré, air, etc...). Mais l'eau, liquide ou en vapeur, déplace toutes ces substances. Si, comme l'observation précédente tend à le faire penser, l'eau n'est qu'interposée mécaniquement dans les vides du réseau, ce dernier fait s'expliquerait par la valeur élevée de la constante capillaire de l'eau. Il est remarquable que, lorsque l'eau contient en dissolution une substance qui la rend pâteuse, comme du silicate de soude par exemple, elle ne pénètre plus que très lentement, même dans les zéolithes qui l'absorbent avec le plus d'avidité. Ainsi la chabasie partiellement déshydratée fuse au contact de l'eau pure, s'échauffe beaucoup et tombe en poussière, en dégageant très rapidement l'air ou tout autre gaz qu'elle a pu absorber auparavant. Mise, au contraire, dans une solution de silicate alcalin concentrée, elle ne dégage ces gaz que très lentement, bulle par bulle, les cristaux restant entiers et ne se saturant qu'au bout de longues heures. Et elle absorbe ainsi non de l'eau

Digitized by Google

pure, mais une grande quantité de silicate alcalin en même temps que de l'eau. Placée ensuite dans l'eau pure, elle dégage lentement et pendant plusieurs jours du silicate alcalin. Si, au contraire, après absorption du silicate, on chauffe le minéral pour le déshydrater, le silicate alcalin y reste inclus, et l'on peut au refroidissement faire absorber par exemple de l'acide carbonique qui déplace la silice du silicate. Un lavage à l'eau effectué ensuite (dans l'intention d'éliminer le carbonate alcalin et d'obtenir ainsi une chabasie simplement enrichie en silice) n'a plus aucun effet, même à l'ébullition ; l'eau ne pénètre plus, les pores semblent bouchés par la silice précipitée. L'attaque aux acides donne un vif dégagement de gaz carbonique. Il paraît bien difficile de voir dans ces phénomènes autre chose que l'effet d'une simple interposition mécanique de l'eau ou des autres fluides entre les particules du silicate. Toutefois on peut se demander encore si l'eau joue bien le même rôle que les autres substances que peut absorber le minéral une fois qu'elle est éliminée.

3° Le point le plus caractéristique peut-être, c'est le mode de dissociation. Les zéolithes ne se dissocient pas comme les sels hydratés qui ont à chaque température une tension de dissociation déterminée, indépendante de la proportion de sel décomposée. Leur dissociation n'est pas celle des systèmes hétérogènes, mais celle des systèmes partiellement homogènes. A chaque température, la tension sous laquelle l'échange d'eau avec le milieu ambiant est réversible dépend encore de la proportion d'eau déjà éliminée. Je l'ai montré nettement pour l'analcime, et les expériences que je poursuis sur les autres zéolithes donnent constamment le même résultat. Il faut en conclure que le minéral partiellement déshydraté n'est pas, comme dans le cas des sels ou dans celui du carbonate de chaux, un mélange hétérogène de mo-

Digitized by Google

lécules intactes et de molécules complètement décomposées, mais constitue une masse homogène. Cette homogénéité ne peut se concevoir dans le cas d'un corps solide qu'à la condition que l'eau éliminée ne puisse être considérée comme enlevée à telle molécule de silicate plutôt qu'à telle autre. Elle exige donc qu'il n'y ait pas de combinaison de molécule à molécule entre le silicate et l'eau.

De plus, le fait bien constaté que la tension limite dépend de la grosseur des fragments, qu'un gros fragment peut absorber de l'eau dans les mêmes conditions de pression et de température pour lesquelles une poudre fine en perd, montre bien que l'équilibre dépend du rapport de la surface à la masse, et que par suite il y intervient des phénomènes capillaires.

L'objet de la présente note est de montrer que les résultats des mesures que j'ai effectuées sur l'analcime, soumis aux raisonnements de la thermodynamique, fournissent un nouvel argument à l'appui de cette idée que l'eau des zéolithes est simplement incluse et non pas combinée chimiquement. Ceci s'entend de l'eau totale de l'analcime, mais pourrait n'être vrai que pour une partie de l'eau des autres espèces. Des essais actuellement en cours permettront sans doute d'en décider.

Les mesures relatives à l'analcime m'ont permis de tracer (1) la courbe des quantités d'eau éliminées en fonction de la température pour une pression constante de la vapeur d'eau dans l'atmosphère ambiante ($p = 11^{mm},9$ de mercure). Quelques essais effectués à des pressions différentes permettent, en outre, d'apprécier la déformation de cette courbe quand la pression varie un peu à partir de cette valeur. Quelque incomplet que soit encore ce diagramme,

(1) *Bull. Soc. Min.*, t. XIX, n° 8.

Digitized by Google

qu'il serait très intéressant d'étendre à des pressions variées, il montre bien nettement que la courbe, presque droite dans sa partie médiane, y présente un point d'inflexion, et est tangente à ses deux extrémités (ou tout au moins asymptote) à des droites parallèles à l'axe des températures et correspondant l'une à la saturation complète, l'autre à la déshydratation.

La connaissance du diagramme complet des teneurs en eau en fonction de la température et de la pression permettrait de calculer pour tous les états du minéral la quantité de chaleur interne mise en jeu par l'élimination de 1 gramme d'eau d'une masse d'analcime assez grande pour que cette élimination ne change pas sensiblement son état de saturation. On va voir que la connaissance de l'une des courbes à pression constante suffit pour conduire à certaines conclusions relativement à cette quantité de chaleur.

Considérons une masse d'analcime prise égale à l'unité à l'état naturel, portée à la température absolue T, ayant perdu une quantité d'eau x et contenue dans un vase extensible où elle est surmontée de cette quantité x de vapeur sous la pression p. Nous supposons, ce qui est amplement réalisé dans le cas des expériences précitées, que cette pression p est inférieure à la tension maximum de l'eau à la température T. En fait, la température a varié dans ces expériences entre 80 et 500° C., et la pression n'était que de quelques millimètres de mercure. On peut sans erreur sensible considérer dans ces conditions la vapeur d'eau comme un gaz parfait. Si donc on appelle v le volume de la vapeur, on aura entre x, T, p et v la relation :

$$x = A\frac{pv}{T}. \tag{1}$$

L'équilibre étant supposé établi, on élève la température de

Digitized by Google

dT. Toutes les variables varient alors et un nouvel état d'équilibre s'établit ; mais cet état n'est défini que si l'on fixe la variation d'une autre des quatre variables, dx par exemple. Alors les deux autres sont données, l'une par la relation (1), l'autre par la relation expérimentale entre x, T et p que fournit le diagramme.

Il y a donc deux variables indépendantes et deux seulement : prenons x et T.

Dans cette transformation une certaine quantité de chaleur dQ (positive ou négative) a été absorbée par l'ensemble. On pourra écrire :

$$dQ = CdT + qdx,$$

C étant la chaleur spécifique de l'ensemble, quand x reste constant, et qdx la quantité de chaleur totale absorbée quand le poids dx d'eau quitte l'analcime, la température restant constante pendant l'opération (condition qui fixe les variations de p et de v).

Le travail externe effectué pendant la transformation est égal à pdv, car la variation de volume du solide est négligeable vis-à-vis de celle de la vapeur. On aura donc, en appelant dU la variation de l'énergie interne du système, et E l'équivalent mécanique de la chaleur :

$$(2) \qquad \begin{aligned} dU &= CdT + qdx - \frac{p}{E}\,dv \\ \frac{dQ}{T} &= \frac{C}{T}\,dT + \frac{q}{T}\,dx. \end{aligned}$$

D'après les deux principes fondamentaux de la thermodynamique, ces quantités sont des différentielles exactes. D'autre part, C, p et v sont des fonctions de x et de T, et

Digitized by Google

la relation (1) nous donne :

$$dv = \frac{1}{Ap}(Tdx + xdT) - \frac{v}{p}\left(\frac{\partial p}{\partial x}dx + \frac{\partial p}{\partial T}dT\right).$$

Les relations (2) deviennent donc :

$$(2') \quad \begin{aligned} dU &= \left(C - \frac{x}{AE} + \frac{v}{E}\frac{\partial p}{\partial T}\right)dT + \left(q - \frac{T}{AE} + \frac{v}{E}\frac{\partial p}{\partial x}\right)dx \\ \frac{dQ}{T} &= \frac{c}{T}dT + \frac{q}{T}dx. \end{aligned}$$

Les conditions pour que ces deux quantités soient des différentielles de fonctions de x et de T sont après réduction :

$$(3) \quad \begin{aligned} \frac{\partial C}{\partial x} + \frac{1}{E}\frac{\partial v}{\partial x}\frac{\partial p}{\partial T} &= \frac{\partial q}{\partial T} + \frac{1}{E}\frac{\partial v}{\partial T}\frac{\partial p}{\partial x} \\ \frac{\partial C}{\partial x} &= \frac{\partial q}{\partial T} - \frac{q}{T}. \end{aligned}$$

D'où en retranchant membre à membre :

$$q = \frac{T}{E}\left(\frac{\partial v}{\partial x}\frac{\partial p}{\partial T} - \frac{\partial v}{\partial T}\frac{\partial p}{\partial x}\right).$$

Cette équation, qui d'ailleurs reste vraie quelle que soit la nature du corps dégagé, pourvu que v représente le volume total, est celle qui, dans le cas qui nous occupe, correspond à celle de Clapeyron et Clausius relative aux transformations sous tensions fixes (1) Elle s'écrit encore, en vertu de la

(1) Quand p n'est fonction que de T, c'est-à-dire $\frac{\partial p}{\partial x} = 0$, elle se réduit à l'équation ordinaire de Clapeyron-Clausius, dont elle est une forme plus générale.

Digitized by Google

relation (1), dans le cas où le corps mis en liberté est un gaz :

$$q = \frac{T}{EA}\left(\frac{T}{p}\frac{\partial p}{\partial T} - \frac{x}{p}\frac{\partial p}{\partial x}\right).$$

Maintenant cette quantité de chaleur q absorbée par la séparation de 1 gramme d'eau de l'analcime à température constante, la masse totale étant assez grande pour que p, x et v ne varient que de quantités infiniment petites, comprend, d'une part, la chaleur correspondant au travail externe effectué ; d'autre part, la chaleur correspondant à la variation d'énergie interne. Pour une variation de x de la quantité dx, la chaleur externe est $\frac{p}{E}\, d_1 v$, $d_1 v$ étant la variation de volume qui se produit lorsque le poids d'eau dx se dégage à température constante. On a donc :

$$d_1 v = \frac{T}{Ap}\, dx - \frac{Tx}{Ap^2}\frac{\partial p}{\partial x}\, dx$$

et, par suite,

$$\frac{p}{E}\, d_1 v = \frac{T}{EA}\left(1 - \frac{x}{p}\frac{\partial p}{\partial x}\right) dx.$$

Pour 1 gramme d'eau la chaleur externe q' est donc :

$$q' = \frac{T}{EA}\left(1 - \frac{x}{p}\frac{\partial p}{\partial x}\right).$$

Par suite, la quantité de chaleur R_T, qui représente la variation de l'énergie interne, est pour 1 gramme d'eau éliminée à température constante :

$$R_T = q - q' = \frac{T}{EA}\left(\frac{T}{p}\frac{\partial p}{\partial T} - 1\right).$$

Digitized by Google

Le même mode de calcul, en prenant pour variables indépendantes p et x ou v et x au lieu de T et x, donne les chaleurs de transformation à pression constante ou à volume constant (température variable dans les deux cas). On retrouve ainsi le même terme R_T, mais augmenté d'un terme dépendant des chaleurs spécifiques du minéral et de la vapeur. Sans effectuer les calculs, dont le principe est suffisamment établi par ce qui précède, en voici les résultats : x étant toujours la seconde variable indépendante, $\frac{\partial p}{\partial T}$ est toujours la variation relative de la pression par rapport à la température quand x est constant. C est la chaleur spécifique de la vapeur dans les conditions de pression p et de température T, c celle du minéral ayant perdu x d'eau et dans les mêmes conditions ; $\left(\frac{\partial T}{\partial x}\right)_p$ désigne la variation relative de la température par rapport à celle de x, quand la pression reste constante, et de même $\left(\frac{\partial T}{\partial x}\right)_v$ quand le volume reste constant. R_p est la chaleur interne de transformation par gramme d'eau à pression constante, et R_v de même à volume constant. On trouve :

$$
\begin{aligned}
& R_T = \frac{T}{EA}\left(\frac{T}{p}\frac{\partial p}{\partial T} - 1\right) \\
(4)\quad & R_p = \frac{T}{EA}\left(\frac{T}{p}\frac{\partial p}{\partial T} - 1\right) + \left[\left(C - \frac{1}{AE}\right)x + c(1-x)\right]\left(\frac{\partial T}{\partial x}\right)_p \\
& R_v = \frac{T}{EA}\left(\frac{T}{p}\frac{\partial p}{\partial T} - 1\right) + \left[\left(C - \frac{1}{AE}\right)x + c(1-x)\right]\left(\frac{\partial T}{\partial x}\right)_v .
\end{aligned}
$$

La quantité qui mesure l'énergie de la combinaison, c'est R_T, où n'interviennent pas les chaleurs spécifiques. L'autre terme, dans les deux dernières expressions, repré-

Digitized by Google

sente la chaleur interne absorbée par la masse en raison de l'élévation de température qui résulte des conditions $dp = 0$ ou $dv = 0$.

Nous connaissons les valeurs de T, p et $\frac{\partial p}{\partial T}$ pour un certain nombre d'états, et pouvons par suite calculer R_T. Si $\frac{\partial p}{\partial T}$, x restant constant, n'est pas connu avec beaucoup de précision, néanmoins nous connaîtrons au moins des valeurs approchées de R_T. Mais il résulte de l'expression même de cette quantité une conséquence intéressante :

On voit que R_T est nulle, lorsque $\left(\frac{\partial p}{\partial T}\right)_x = \frac{p}{T}$.

Or la relation (1) montre que cette condition équivaut à :

$$\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_x = 0.$$

R_T est donc nul pour un état tel que, la température variant de dT et x restant constante, la pression d'équilibre p varie de telle façon que le volume reste constant. Dans cet état particulier la condition $dx = 0$ équivaut à la condition $dv = 0$; par conséquent, dans cet état, $\frac{dx}{dT}$ à volume constant est nul.

Or, si nous ne connaissons pas la courbe des valeurs de x en fonction de T à volume constant, qui nous ferait connaître ces états particuliers, nous connaissons la courbe des valeurs de x en fonction de T à pression constante, qui nous donne les valeurs de $\frac{dx}{dT}$ à pression constante. On peut calculer $\left(\frac{dx}{dT}\right)_v$ en fonction de $\left(\frac{dx}{dT}\right)_p$ pour chacun des points

Digitized by Google

de la courbe connue, à condition de connaître $\left(\frac{\partial p}{\partial T}\right)_x$. On trouve ainsi :

$$\left(\frac{\partial x}{\partial T}\right)_v = \left(\frac{\partial x}{\partial T}\right)_p \frac{\frac{\partial p}{\partial T} - \frac{p}{T}}{\frac{\partial p}{\partial T} + \frac{p}{x}\left(\frac{\partial x}{\partial T}\right)_p}.$$

Le facteur du second membre est toujours plus petit que l'unité, car $\frac{x}{T}$ est essentiellement positif, et $\left(\frac{\partial x}{\partial T}\right)_p$ l'est toujours d'après la courbe.

Sans même faire ce calcul, il est évident que $\left(\frac{\partial x}{\partial T}\right)_v$ est constamment plus petit que $\left(\frac{\partial x}{\partial T}\right)_p$, car, lorsque la température augmente de dT, la quantité d'eau dx dégagée du minéral est plus grande si la pression reste constante que si la constance du volume vient déterminer un accroissement de pression. En chaque point de la courbe à pression constante, l'élément de courbe à volume constant croise donc la courbe connue en s'éloignant de l'axe des x vers les températures croissantes. Or $\left(\frac{\partial x}{\partial T}\right)_p$ devient nulle dans les deux états extrêmes de saturation complète et de déshydratation. $\left(\frac{\partial x}{\partial T}\right)_v$, constamment plus petit, s'annule donc aussi, et la relation (5) montre qu'elle s'annule pour deux raisons : $\left(\frac{\partial x}{\partial T}\right)_p$ devient nul, et $\frac{\partial p}{\partial T} - \frac{p}{T}$ également, le dénominateur se réduisant à $\frac{p}{T}$ et n'étant par conséquent pas nul. Accessoirement on peut observer que $\frac{\partial p}{\partial T} \times \frac{T}{p}$ doit être toujours plus

Digitized by Google

grand que l'unité ; il tend vers l'unité pour les deux états extrêmes. Les expériences assignent à ce rapport, pour $p = 11^{mm},9$, un maximum de 17 environ pour $x = 6,55$ 0/0.

De là résulte encore cette loi nécessaire : Un accroissement relatif $\frac{dp}{p}$ de la tension de la vapeur d'eau dans l'atmosphère ambiante détermine un accroissement relatif $\frac{dT}{T}$ de la température absolue à laquelle est atteinte la déshydratation complète, qui est égale à $\frac{dp}{p}$. Et la même loi s'applique à la température de saturation complète. L'exactitude de cette loi n'est pas subordonnée à l'existence de ces températures limites, qui peuvent bien ne pas exister en toute rigueur. On peut affirmer que $\frac{dT}{T}$ tend vers $\frac{dp}{p}$ pour une même valeur de x très voisine de 0 ou du maximum.

D'autre part, la chaleur interne de combinaison à température constante R_T est nulle dans l'état de saturation et dans l'état de déshydratation. Dans ces deux états limites la quantité de chaleur nécessaire pour extraire 1 gramme d'eau d'une grande masse d'analcime à température constante, et la transformer en vapeur, équivaut exactement au travail externe produit.

De plus, il est facile de vérifier que $\frac{dR_T}{dx}$ à pression constante est nulle quand $\left(\frac{dp}{dT}\right)_x = \frac{p}{T}$. La courbe qui représente les valeurs de R_T en fonction de x pour une pression constante est donc en ses deux extrémités tangente à l'axe des x. C'est-à-dire qu'au voisinage des deux états extrêmes, R_T s'écarte lentement de zéro, de façon que, si même il n'existe pas, en réalité, d'état de saturation ou de déshydra-

Digitized by Google

tation complète, ce dont l'expérience est impuissante à décider, R_T n'en est pas moins pratiquement nul, quand x peut être considéré comme pratiquement nul ou maximum.

Pour ce qui est des chaleurs de combinaison dans les états intermédiaires où le minéral est en partie déshydraté, l'expérience seule peut nous renseigner. On pourrait croire que cette chaleur de combinaison, tendant vers zéro pour les deux états extrêmes, reste constamment nulle. Il faudrait pour cela que $\left(\frac{dp}{dT}\right)_x$ qui est égal à $\frac{p}{T}$ pour les états extrêmes, conservât toujours cette même valeur; en d'autres termes, il faudrait que les courbes en x et T à pression constante, relatives à toutes les pressions (du moins à toutes les pressions suffisamment faibles pour que la vapeur d'eau se comporte comme un gaz parfait), dérivassent de la courbe expérimentale connue par amplification des ordonnées dans le rapport $\frac{dp}{p}$. L'expérience ne justifie pas cette hypothèse.

$\left(\frac{dp}{dT}\right)_x$ paraît être, pour la partie médiane de la courbe, très supérieur à $\frac{p}{T}$. De façon que R_T, partant de zéro pour $x = 0$, croît d'abord, puis atteint un maximum et décroît ensuite jusqu'à zéro, valeur qu'il atteint de nouveau pour $x = 8{,}23$ 0/0 (teneur totale en eau). Les chiffres suivants, calculés d'après l'évaluation de $\left(\frac{\partial p}{\partial T}\right)_x$ sur le diagramme, sans prétendre à une précision bien grande, donneront une idée de l'ordre de grandeur de R_T. $\left(\frac{\partial p}{\partial T}\right)_x$, loin de décroître proportionnellement à $\frac{p}{T}$, reste presque constant dans la partie médiane de la courbe.

Digitized by Google

p en millimètres de mercure	T absolue	x pour 1 gramme d'analcime naturelle	$\left(\frac{\partial p}{\partial T}\right)_x$	R_T en petites calories pour 1 gramme d'eau
10,7	353 (?)	0	»	0
10,7	438	0,010	0,343	631
10,7	463	0,020	0,331	680
10,7	498	0,035	0,320	764
10,7	532	0,050	0,320	876
10,7	581	0.0655	0,320	1052
10,7	628	0,0761	0,266	1014
10,7	773 (?)	0,0823	»	0

Le fait que, pour les états intermédiaires, R_T n'est pas nul en général pour les zéolithes, et que, de plus, la moyenne est supérieure à la chaleur interne de volatilisation de l'eau, est mis en évidence par le dégagement de chaleur considérable que l'on constate dans l'action de l'eau *à l'état liquide* sur les zéolithes, comme la chabasie ou l'harmotone, pour lesquelles l'absorption est assez rapide.

Ainsi, en résumé, les résultats précédents peuvent s'énoncer ainsi :

1° La température de saturation complète, comptée à partir du zéro absolu, est proportionnelle à la tension de la vapeur d'eau dans l'atmosphère ambiante.

La même loi s'applique à la température de déshydratation complète. Mais, pour un état de saturation intermédiaire déterminé, la température d'équilibre n'est pas proportionnelle à la pression.

2° La quantité de chaleur *interne* mise en jeu par l'absorption ou le dégagement de 1 gramme de vapeur d'eau à température constante d'une masse d'analcime assez grande pour que son état de saturation n'en soit pas sensiblement

Digitized by Google

modifié, tend vers zéro quand l'état du minéral tend vers la saturation ou la déshydratation complète.

Entre deux, elle n'est pas nulle ; l'absorption de l'eau prise à l'état de vapeur *dégage* une certaine quantité de chaleur interne, laquelle atteint rapidement, dès que l'on s'écarte des états extrêmes, des valeurs très supérieures à la chaleur interne qui serait dégagée par la condensation de la même quantité de vapeur à l'état liquide (1). De façon que, quand le minéral est presque complètement déshydraté, l'énergie interne de l'eau qu'il contient est égale à celle de la vapeur d'eau, dans les conditions de température T et de pression p où se trouve à ce moment le minéral. L'eau se comporte alors comme si, à l'état de vapeur, elle remplissait des vides dans le minéral au même titre que l'espace ambiant, sans que le silicate ait sur elle aucune action ; pour la dégager, il faut simplement lui fournir exactement la quantité de chaleur correspondant au travail externe effectué par suite de ce dégagement. En d'autres termes, quand il ne reste plus que très peu d'eau dans le minéral, cette eau n'est pas combinée, ni même physiquement condensée, elle est (à la limite) identique à la vapeur ambiante.

Quand la proportion d'eau augmente, cette eau, supposée prise à l'état de vapeur, dégage en entrant dans le minéral une certaine quantité de son énergie interne à l'état de chaleur. Il y a action du silicate sur l'eau, combinaison ou condensation. Mais cette action présente un maximum pour une certaine proportion d'eau. Quand la saturation est près d'être atteinte, les dernières masses de vapeur d'eau qui pénètrent encore ne perdent plus, en pénétrant dans le minéral, rien de leur énergie interne. Au total, l'eau de l'analcime satu-

(1) Cette dernière quantité de chaleur, égale à 497 calories à 100°, diminue pour les températures croissantes, atteint 458 calories à 150° et doit s'annuler à 365-370°, point critique de l'eau.

Digitized by Google

rée possède une énergie interne qui est égale à celle de la vapeur diminuée de la moyenne des valeurs de R_T pour toutes les valeurs de x, soit environ 740 calories par gramme d'eau. Ce chiffre représente la chaleur interne de saturation totale à partir de l'eau en vapeur. Mais de même que les premières quantités d'eau, les dernières qui ont pénétré dans le minéral ne sont pour rien dans ce total. Sont-elles dans un état comparable à l'état de vapeur, ou condensées à l'état liquide avec une énergie superficielle capillaire compensant exactement la chaleur de vaporisation, ce qui serait une condition de saturation et expliquerait l'influence de la grosseur des fragments? Et pour quelle raison n'en est-il pas de même dans les états de saturation partielle? Ces questions ne peuvent être résolues pour le moment qu'en faisant des hypothèses, tandis que les résultats précédents ne sont déduits que de faits expérimentaux, aidés du principe de l'équivalence et du principe de Carnot, qui n'ont, eux aussi, que des bases purement expérimentales. De ces seuls faits résulte cette conséquence que l'eau de l'analcime presque déshydratée n'est combinée d'aucune manière ; et que l'eau qui pénètre dans l'analcime presque saturée n'est pas combinée, ou que, si elle l'est, c'est de telle façon que la chaleur interne de combinaison, à partir de l'eau liquide soit exactement égale à la chaleur interne de vaporisation, quelle que soit la température de saturation, ce qui certainement exclut une combinaison chimique proprement dite, de molécule à molécule, et implique un équilibre mécanique déterminé par cette condition même. Si l'on admet qu'à l'état de saturation l'eau est incluse à l'état liquide, et que l'abaissement de la tension de vaporisation est dû à la petitesse du rayon des ménisques, on peut calculer le diamètre de ces ménisques. Il est assez remarquable que l'on trouve des chiffres variant de 1/2 à 1 millionième de millimètre, c'est-à-

Digitized by Google

dire de l'ordre de ceux auxquels lord Kelvin, par des considérations bien différentes, est arrivé pour la grandeur des intervalles intermoléculaires dans les solides.

Note sur les minéraux et les roches du gisement diamantifère de Monastery (État libre d'Orange) et sur ceux du Griqualand

Par M. A. Lacroix.

Le don fait l'an dernier au Muséum, par M. A. Reitlinger, d'une série d'échantillons d'un gisement diamantifère de l'Afrique australe, m'a fourni l'occasion d'étudier tous les documents analogues possédés par la collection minéralogique du Muséum. Je m'occuperai tout d'abord des produits fournis par le nouveau gisement pour traiter ensuite la question d'une façon plus générale.

Le gisement visité par M. Reitlinger se trouve sur la ferme de Monastery, situé à environ 48 kilomètres au sud de Winburg et à près de 200 kilomètres de la célèbre mine de diamants de Jagerfontein.

La superficie de la cheminée diamantifère n'est pas bien définie, elle peut avoir de 2 à 5 hectares, d'après M. Reitlinger : le conglomérat (*blue ground*) y apparaît actuellement à une profondeur de 25 mètres. Il semble que ce gisement ait été exploité à une époque reculée, car on a trouvé des débris de travaux anciens jusqu'au niveau de 15 mètres.

Les échantillons rapportés consistent en minéraux isolés et en petits cailloux provenant de la désagrégation du blue ground. Il me paraît inutile d'insister sur la structure bréchi-

Digitized by Google

forme de celui-ci, qui est tout à fait identique, à ce point de vue, au blue ground du Griqualand.

Les minéraux isolés sont constitués par les espèces suivantes :

Grenat pyrope, *diopside*, *ilménite*, *zircon*, *biotite*, *apophyllite*, et par un menu sable formé par les mêmes minéraux, accompagnés de petits fragments d'*olivine*, d'*enstatite*, de *biotite*, de *magnétite*, de *chromite*, etc.

Les roches en fragments, de la grosseur d'une noix au plus, sont formées : 1° par des *labradorites* et des *diabases;* 2° par des *péridotites ;* 3° par la *kimberlite*. Les labradorites et les diabases sont à grains fins, elles possèdent la structure ophitique, sont plus ou moins riches en olivine et ne diffèrent pas de celles qui sont abondantes à Kimberley; aussi je ne m'en occuperai pas davantage.

Le minéral le plus remarquable de ce gisement est le *pyrope ;* d'un beau rouge, il est identique à celui de Kimberley (*Cape ruby*) ; parmi les échantillons recueillis par M. Reitlinger, se trouve une moitié de cristal arrondi qui ne pèse pas moins de $1^{kg},700$; le minéral se rencontre d'ordinaire en grains de la grosseur d'un pois, son origine doit être en grande partie recherchée dans les péridotites dont il sera question plus loin.

Le *diopside* forme parfois des cristaux énormes ; un échantillon de la grosseur du poing, arrondi lui aussi, est d'un vert pistache, ses bords sont colorés en brunâtre par des lamelles microscopiques de biotite, distribuées en grand nombre dans les plans de séparation très faciles suivant h^1 (100) du diopside. Une particularité curieuse que présente, en outre, celui-ci consiste dans l'existence d'un nombre considérable de gros cristaux d'*ilménite*, disposés dans ses plans h^1 (100). Ils sont aplatis suivant a^1 (0001), et très allongés suivant une diagonale de la face hexago-

Digitized by Google

nale ; cet axe binaire est disposé parallèlement à l'axe binaire du diopside ; ces cristaux peuvent atteindre plusieurs centimètres de plus grande dimension. Il résulte de cette disposition une véritable *pegmatite graphique* d'ilménite et de diopside, ce dernier minéral jouant le même rôle que le feldspath dans la pegmatite graphique ordinaire. L'ilménite est en partie transformée en *perowskite*.

L'examen de lames minces taillées dans le diopside montre une structure vermiculée, analogue à celle que j'ai décrite dans le diallage des diallagites de Moncaup (1), mais avec cette différence, toutefois, que le remplissage des cavités vermiculaires est formée par un produit serpentineux colloïde vert. Il est probable que ce diopside provient de la kimberlite ; cette roche est en effet extrêmement riche en ilménite et en perowskite, tandis que ces minéraux ne s'observent pas dans les péridotites.

L'*ilménite* se trouve en grains isolés, mais le plus souvent ceux-ci sont entourés encore par un peu de kimberlite ; ils n'ont pas de forme géométrique et peuvent atteindre la grosseur d'une noisette. L'examen microscopique des échantillons enveloppés par la kimberlite fait voir qu'ils sont extérieurement entourés par une zone de petits cubes microscopiques de perowskite, parfois distincts à la loupe. Cette ilménite est riche en magnésie, comme celle de Kimberley.

Je signalerai en passant la facilité avec laquelle ce minéral est attaqué par l'acide fluorhydrique chaud, qui paraît le dissoudre plus rapidement que l'acide chlorhydrique.

Le zircon est incolore et un peu jaunâtre, le fragment de cristal que j'ai examiné est limpide et dépourvu de formes géométriques, sa surface est arrondie et courbe.

A côté de ces minéraux primordiaux des roches diaman-

(1) *Minéralogie de la France*, I, 582, fig. 16.

Digitized by Google

tifères se trouve un intéressant produit secondaire, l'*apophyllite*. Elle forme des octaèdres a^1 (101), absolument isolés de toute gangue et complets; l'un des deux cristaux a l'un de ses pointements quaternaires tronqué par un clivage p (001). Le minéral, d'un blanc jaunâtre, translucide, a des faces planes en apparence; mais, sur le goniomètre, elles donnent des images superposées ne permettant que des mesures approximatives, donnant des valeurs d'environ 58° pour l'angle a^1a^1 (sur p) et d'environ 104° pour l'arête culminante de a^1a^1. Il ne m'a pas paru utile de pousser plus loin l'étude de ces cristaux qui sont en tous points identiques à ceux qui viennent d'être décrits par M. Henderson (1), d'après des spécimens recueillis dans de semblables conditions à la ferme de Kopiesfontein, près Jagerfontein. L'intérêt de ces cristaux réside dans cette particularité, rare parmi les minéraux du groupe de zéolites, de pouvoir être extraits sans difficulté de leur gangue en cristaux absolument complets.

Kimberlite. — Le nom de *kimberlite* a été donné par Carvill Lewis à la roche riche en mica, qui constitue essentiellement à l'état bréchiforme le remplissage des cheminées diamantifères. Elle est généralement très altérée, et sa composition minéralogique n'a pas été, jusqu'à présent, établie d'une façon absolument complète. L'étude des échantillons de Monastery ajoute à nos connaissances à cet égard, leur décomposition étant moins avancée que dans les spécimens du Griqualand.

La kimberlite est une roche à deux temps de consolidation, renfermant des phénocristaux d'olivine (à formes nettes semblables à celles de l'olivine de basaltes avec phénomènes de corrosion), de pyrope, d'enstatite, de diopside, d'ilménite et de biotite (souvent en voie de résorption). Ces cristaux

(1) *Mineralogical Magazine*, décembre 1897, p. 318.

Digitized by Google

sont distribués en grande abondance dans un magma constitué par un verre (?) brunâtre, serpentinisé, renfermant des lamelles de biotite d'un blond très pâle, des grains et des cristaux d'ilménite, de *perowskite* (cubes simples ou maclés très abondants), de chromite, de magnétite.

Enfin il existe en assez grande abondance des cristaux de *néphéline*, prismes hexagonaux squelettiformes qui, dans leurs anfractuosités, englobent du verre et des cristaux prismatiques d'un minéral serpentinisé dont je n'ai pu déterminer la nature ; le plus souvent, la néphéline est altérée, et la roche imprégnée de calcite secondaire. La kimberlite peut être comparée à une sorte d'alnoite, qui renfermerait du verre et dont la melilite serait remplacée par de la néphéline.

Carvill Lewis a cru voir dans un échantillon de petits cristaux microscopiques de diamant, sans pouvoir, du reste, les isoler. J'apporte un fait précis pour démontrer l'existence du diamant dans la kimberlite. Le Muséum possède une riche collection de diamants de Griqualand, qu'il doit à la générosité de M. Bischoffsheim ; cette collection renferme un certain nombre d'échantillons de diamant sur gangue, celle-ci est constituée par le blue ground, sauf pour un échantillon provenant de Du Toit's Pan. Cet échantillon est, en effet, constitué par un fragment de kimberlite, dans laquelle est implanté un octaèdre de diamant, accompagné de grains de pyrope. Craignant que ce cristal de diamant, peu solide sur sa gangue, n'y ait été introduit artificiellement, je l'en ai enlevé avec une pince, et j'ai pu constater que la cavité laissée par lui sur la kimberlite est recouverte par une mince croûte de calcite, en partie restée adhérente au cristal lui-même et se prolongeant dans une fêlure de celui-ci. Cette même particularité s'oberve sur les phénocristaux de pyrope de l'échantillon et indique très nette-

Digitized by Google

ment que le cristal en question n'a pu être placé sur sa gangue par un procédé artificiel.

Péridotite. — Il me reste à parler des péridotites qui se trouvent dans le blue ground, aussi bien dans le Griqualand qu'à Monastery.

Les échantillons de Griqualand que possède le Muséum ont été rapportés vers 1883 de Bultfontein, de Kimberley et surtout de Du Toit's Pan. Ils sont constitués par une association granitoïde d'enstatite et d'olivine en éléments atteignant 1 centimètre. La composition vient se compliquer par la présence de grains de pyrope, de biotite (en partie altérée et transformée en *vaalite*), et enfin de diopside chromifère. Dans les échantillons que j'ai examinés, le diopside chromifère n'est jamais assez abondant pour constituer une vraie *lherzolite*, la roche doit être rapportée à la *harzburgite*.

Le grenat est le minéral le plus ancien de la roche, il n'a pas de forme géométrique; la forme arrondie des grains que l'on trouve dans le blue ground n'est donc pas d'origine secondaire. Il est parfois extrêmement abondant; dans un échantillon de Monastery, il est également réparti en grains de la grosseur d'un pois : l'échantillon, mesurant 10 centimètres de plus grande dimension, en renferme plusieurs centaines. L'enstatite moule l'olivine. Les éléments de la roche sont souvent absolument intacts, et je ne connais aucun autre gisement ayant fourni des harzburgites aussi parfaitement intactes. Mais il n'en est pas toujours ainsi et, fréquemment, l'enstatite est transformée en bastite d'un jaune plus ou moins foncé, l'olivine se cloisonne et se transforme en antigorite à structure maillée, parfois accompagnée ou remplacée par une variété plus biréfringente (*bowlingite*); enfin il se développe dans la roche de la calcite (1),

(1) M. Reitlinger a rapporté de Kimberley un échantillon de calcite à

Digitized by Google

des paillettes de mica, de la chlorite qui entourent souvent les grains de pyrope.

Quelques échantillons offrent des particularités remarquables ; l'un d'eux est très riche en quartz, constituant des grains de $0^{mm},10$ environ ; il remplit les alvéoles de l'olivine et s'applique même sur les fragments encore intacts de ce minéral. Ce quartz renferme des inclusions de longs fils enchevêtrés d'un minéral noir opaque que je n'ai pu spécifier.

Un autre échantillon, également imprégné de gros grains de quartz qui traverse les fentes de l'enstatite et de l'olivine, est en outre riche en cristaux automorphes de diopside ; la disposition de ces cristaux par rapport à l'enstatite rappelle d'une façon frappante ce que l'on observe parfois dans les nodules à olivine, englobés dans les basaltes et ayant subi une partielle fusion suivie de recristallisation. Il est possible que le quartz qui imprègne cette roche occupe la place de verre résultant de la fusion partielle de la roche, dont le pyroxène constituerait un élément recristallisé. Dans ce cas, la fusion partielle de la roche aurait été produite par son englobement par la kimberlite (1).

Il me reste à signaler quelques types aberrants de ces péridotites. J'ai examiné tout d'abord un petit fragment verdâtre à grains fins, riche en chromite dont tous les éléments sont écrasés et présentent une remarquable *structure en mortier*. C'est le seul échantillon de ces gisements m'ayant présenté des modifications dynamiques intenses.

Plus nombreux sont les blocs dépourvus d'olivine, mais

clivages rhomboédriques aussi limpides que le *spath d'Islande*. Le blue ground de Du Toit's Pan a fourni, en 1883, des échantillons de xylotile brun à aspect ligneux, dont les propriétés optiques sont identiques à celles du xylotile du Tyrol.

[1] J'ai observé une enclave de diabase dans un échantillon de kimberlite de Monastery ; elle n'est pas modifiée ; mais il s'est produit une concentration de la perowskite dans la kimberlite, contre les parois de l'enclave.

Digitized by Google

extrêmement riches en biotite, plus ou moins transformée en vaalite. Cette biotite, dont les lames atteignent plusieurs centimètres, englobe des grains de rutile, des cristaux de diopside chromifère, de la smaragdite. Enfin ce dernier minéral est très abondant dans des échantillons, souvent riches en diopside.

Ces diverses roches étant décrites, il m'est possible d'aborder l'origine des minéraux qui se trouvent en fragments ou en cristaux isolés dans le blue ground, et accompagnent les cristaux de diamant. Les plus communs sont ceux dont il a été question déjà : pyrope, ilménite, enstatite, diopside chromifère, olivine, biotite, zircon, etc. On a vu par les descriptions données plus haut que ces minéraux (sauf le zircon que je n'ai pas trouvé dans les roches massives étudiées, et l'ilménite spéciale à la kimberlite) se rencontrent à la fois comme produits intratelluriques de la kimberlite et comme éléments de la harzburgite ou des roches exceptionnelles qui les accompagnent dans le blue ground. Cette communauté de composition minéralogique indique sans doute possible une communauté de magma original; la harzburgite se trouve dans la brèche kimberlitique à l'état d'enclave homœogène. Mais la comparaison de ces fragments de minéraux avec les éléments de la harzburgite rend peu douteux à mes yeux ce fait qu'ils proviennent beaucoup plutôt de la démolition de la harzburgite que de celle de la kimberlite.

L'observation relatée plus haut démontre que le diamant existe dans la kimberlite, mais je crois difficile d'admettre que ce soit là son gisement exclusif ou principal. En effet, si l'on considère qu'un seul cristal a été signalé jusqu'à présent dans la kimberlite, alors que les blocs de cette roche constituent par leur agglomération la plus grande partie de la brèche dont le diamant est un élément détritique, on est amené logiquement à attribuer au diamant la même origine

Digitized by Google

qu'aux minéraux épars avec lui dans la brèche, c'est-à-dire à le regarder comme un des éléments probables de la harzburgite. On peut à ce raisonnement objecter l'absence de vérification directe de l'hypothèse en question, mais je ferai remarquer que les enclaves de harzburgite, qui n'avaient pas encore été signalées, paraissent rares; je n'en ai eu entre les mains qu'une dizaine d'échantillons. Il me semble donc utile d'appeler sur elles l'attention des minéralogistes, qui étudieront à l'avenir ces intéressants gisements. A mes yeux, c'est là qu'est la clef du problème.

Sur le sel gemme métamorphique de Salies-du-Salat

PAR M. A. LACROIX.

Dans un mémoire antérieur (1), j'ai montré que les lherzolites et les ophites intrusives des Pyrénées françaises déterminent à leur contact avec les assises secondaires (calcaires, marnes et grès) des phénomènes métamorphiques intenses, essentiellement caractérisés par la production d'une nombreuse série de minéraux : dipyre, feldspath (orthose et plagioclases), quartz, amphiboles (trémolite, actinote, hornblende), pyroxènes, apatite, rutile, sphène, pyrite, magnétite, micas (phlogopite, biotite), tourmaline, en un mot toute une série d'espèces dont quelques-unes étaient considérées comme l'apanage des auréoles des roches de profondeur et notamment des roches granitiques.

Un sondage effectué récemment à Salies-du-Salat, pour l'exploitation de terrains salifères, m'a permis de retrouver quelques-uns de ces minéraux dans une couche de sel gemme. Je dois à l'obligeance de M. Huc les échantillons que j'ai étudiés.

Le sondage en question n'a point rencontré d'ophites, for'

[1] *Bulletin Cart. géologique de France*, VI, n° 42 ; 1894-1895.

Digitized by Google

heureusement pour l'exploitation, du reste ; mais cette roche abonde dans le voisinage, et il n'est pas douteux que ce soit grâce à son influence que le sel gemme s'est chargé des minéraux dont il va être question.

Un premier sondage a rencontré le sel gemme à 206 mètres de la surface du sol et a été arrêté à 250 mètres. Un nouveau sondage a rencontré le sel à la même cote, à 255 mètres. Ce sel est à grands éléments : gris, blanc, rouge ou violacé ; il est mélangé à un peu d'anhydrite, de gypse et de pyrite. L'échantillon le plus intéressant que j'ai examiné provient de la cote 261 mètres. Il correspond à un type trouvé jusqu'à 284 mètres, profondeur à laquelle a été rencontré un sel à grands éléments, pauvre en minéraux intéressants.

Le sel gemme de la cote 261 mètres est gris, à grandes lames ; sur une cassure fraîche, il paraît très pur, mais, dès qu'on l'attaque par l'eau, on voit apparaître sur les surfaces en voie de dissolution de nombreux minéraux, distribués assez régulièrement dans sa masse, mais formant par places de petits nodules cristallins. L'examen à l'œil nu montre parmi ces minéraux de l'anhydrite, de la calcite, de la phlogopite incolore ou jaune pâle. L'étude microscopique fait voir en outre l'existence de rutile et de tourmaline. Tous ces minéraux sont enveloppés par de grandes plages de sel gemme qui jouent par rapport à eux le même rôle que la calcite dans les calcaires métamorphiques. Je n'ai trouvé dans aucun échantillon de cristaux déterminables cristallographiquement ; leurs faces sont toujours arrondies, et le plus souvent leurs formes indistinctes.

Je ne crois pas que l'on ait jamais signalé de semblables associations minérales ; aussi m'a-t-il paru utile de les signaler à l'attention de la Société.

Le Secrétaire, gérant,
PAUL GAUBERT.

Tours. — Imprimerie DESLIS FRÈRES.

Digitized by Google

BULLETIN

DE LA

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE MINÉRALOGIE

ANNÉE 1898. — BULLETIN N° 2.

Compte rendu de la séance du 10 février 1898.

PRÉSIDENCE DE M. LE CHATELIER.

M. le Président proclame membre de la Société M. Bäckström, professeur à la Hogskola de Stockholm, présenté dans la séance précédente par MM. A. Lacroix et P. Gaubert.

M. A. LACROIX offre à la Société son mémoire : *Le Gypse de Paris et les minéraux qui l'accompagnent* (première contribution à la minéralogie du bassin de Paris) (extrait des *Nouvelles Archives du Muséum*, t. IX).

M. Pisani présente les minéraux suivants :

Catapléite. — Jolis cristaux transparents en prismes hexagonaux très aplatis mb^2p, ayant de 10 à 15 millimètres de diamètre. — Ressemble à de l'apatite ; $n = 1,593$ environ. — Groenland.

Digitized by Google

Neptunite. — Minéral décrit comme silico-titanate de fer, manganèse, potasse et soude. Petits cristaux noirs ou noir brun, ressemblant au premier abord à des spinelles. — Prismes courts avec dôme, clinorhombiques. — Groenland.

Steenstrupite. — Sil. de (CeLaDi) ThFeAlCaMnNa + aq, rhomboèdres basés noirs rappelant l'ilménite. — Groenland.

Parisite. — En petits cristaux sur l'ægyrine du Groenland.

Épididymite. — Orthorhombique, forme dimorphe de l'eudidymite qui est clinorhombique, cristaux allongés souvent bacillaires rappelant la thomsonite. — Silicate de glucine et soude hydraté. — Groenland.

Ilvaïte. — Très petits cristaux trouvés au Groenland.

Rinkite. — Monoclinique. Cristaux jaunes rappelant la wöhlerite. Fluotitanate de cérium avec chaux et soude. — Groenland. — Très rare.

Sur un phosphate d'urane cristallisé

Par M. Léon Bourgeois.

Werther(1) a obtenu depuis près de cinquante ans, par l'action de l'acide phosphorique ou du phosphate de sodium sur une solution d'acétate d'urane, un phosphate diuranique hydraté $PO^4(UO^2)H + 4H^2O$ (en prenant U = 240), sous forme d'une poudre microcristalline jaune. Dans ce même mémoire, entre autres questions traitées, Werther décrit, en outre, l'arséniate d'urane correspondant, obtenu par un procédé analogue, donne l'analyse des minéraux uranite et

(1) *Journ. f. prakt. Chem.*, 1848, t. XLIII, p. 321.

Digitized by Google

chalcolite, et fait remarquer la similitude profonde existant entre la formule de ces derniers et celle du phosphate simple écrite plus haut. Si l'on remplace, en effet, dans cette dernière, après l'avoir doublée, l'hydrogène basique par la quantité équivalente de calcium, on obtient précisément la formule de l'uranite $(PO^4)^2(UO^2)^2Ca + 8H^2O$; de même avec le cuivre, on a la chalcolite. En sorte que les deux minéraux sont respectivement, même eu égard aux quantités d'eau de cristallisation, les sels de calcium et de cuivre du phosphate diuranique envisagé comme acide monobasique. Werther publie à ce propos une curieuse expérience : ayant fait bouillir pendant longtemps du phosphate d'urane cristallisé avec une solution d'acétate basique de cuivre, il a vu le sel se colorer en vert (cette nuance persistant après des lavages à l'acide acétique et à l'eau), et offrir alors la composition exacte de la chalcolite.

M. H. Debray(1), dans sa thèse sur la production d'un grand nombre de phosphates et d'arséniates cristallisés, a fait voir que la chalcolite s'engendre aisément en petites paillettes carrées, toutes les fois qu'on mélange des solutions acides d'azotate d'urane et de phosphate cuivrique ; le produit formé est parfaitement stable à chaud, même en présence d'un excès d'eau ou d'une solution d'azotate d'urane. Les choses se passent tout autrement au cas où l'on substitue dans l'expérience un sel de calcium au sel de cuivre. Il ne se fait jamais d'uranite ; à froid, M. Debray a recueilli, dans certaines circonstances, un phosphate uranico-calcique de composition différente $(PO^4)^2(UO^2)CaH^2 + xH^2O$, le coefficient x variant de 8 à 4, suivant que la température de la réaction varie entre 50 et 250°. Si les liqueurs renferment un excès d'azotate d'urane, on obtient un sel formé,

(1) *Ann. chim. phys.*, 1861, 3e série, t. LXI, p. 446.

Digitized by Google

comme le précédent, de croûtes jaunes microcristallines, mais ne renfermant plus de calcium : c'est un phosphate diuranique simple, plus ou moins hydraté. En particulier, si la réaction s'effectue à 50-60°, il présente la composition exprimée par la formule $PO^4(UO^2)H + 4H^2O$; ce sel est précisément celui de Werther, et c'est lui-même qui va nous occuper dans un instant.

Plus récemment, M. Cl. Winkler (1), ayant découvert, dans un gisement de Saxe, l'uranospinite et la zeunérite, c'est-à-dire les arséniates correspondant respectivement à l'uranite et à la chalcolite, les a vus l'un et l'autre s'engendrer sous forme de petites paillettes carrées par simple mélange d'une solution d'azotate d'urane avec des solutions d'arséniates de calcium ou de cuivre renfermant un excès d'acide arsénique. Il y a lieu de noter que, contrairement à ce qu'avait observé Debray pour les phosphates, le sel de calcium prend naissance aussi aisément que le sel de cuivre.

Il n'est pas impossible que la nature ait mis en œuvre, dans la genèse des minéraux de la famille de l'uranite (voir leur liste plus loin), des procédés assez voisins de ceux qui ont été employés dans les synthèses de MM. Debray et Winkler ; ainsi l'on peut concevoir que des eaux chargées d'acide sulfurique par suite d'oxydation de minéraux pyriteux ayant coulé, d'une part sur des masses de pechblende, d'autre part sur des cristaux d'apatite ou de phosphates de cuivre, pourraient donner naissance à une lente cristallisation d'uranite, de chalcolite, etc. Le succès de M. Winkler, en ce qui concerne l'uranospinite ou arséniate urano-calcique, m'avait engagé, même en présence de la non-réussite de M. Debray, à poursuivre quelques essais en vue de la reproduction de l'uranite. J'ai hâte de dire qu'ils ne m'ont pas

(1) *Journ. f. prakt. Chem.*, 1873, t. CXV, p. 6.

Digitized by Google

davantage conduit jusqu'à présent au résultat cherché. Toutes les fois que j'ai mis en présence des solutions d'azotate d'urane et de phosphate de calcium ou autres métaux (le cuivre excepté), en présence d'un acide minéral, j'ai toujours vu se déposer un précipité jaune constitué par de très petites tables carrées ; ce précipité est le phosphate diuranique de Werther et ne renferme pas d'autre métal que l'uranium. Cependant, avec le cuivre, les choses se passent autrement : le précipité est vert, tout en offrant les mêmes apparences microscopiques que le précédent ; il est formé de chalcolite. Mais il faut, pour qu'il en soit ainsi, que la liqueur ne soit pas trop acide, auquel cas tout le cuivre demeure en solution, et l'on retombe sur le précipité jaune habituel de phosphate uranique cristallisé. Je me suis assuré de l'absence de calcium ou autres métaux dans les dépôts (bien pulvérisés et lavés) en procédant ainsi que l'avait fait Debray : dissoudre le sel dans l'acide azotique, précipiter par l'acétate d'ammonium la liqueur étendue, filtrer pour séparer le phosphate d'urane, ajouter à la liqueur filtrée un réactif tel que l'oxalate d'ammonium.

Ceci posé, j'ai observé sur le phosphate diuranique une propriété intéressante et non signalée, qui l'éloigne de la plupart des phosphates insolubles et le rapproche au contraire d'autres sels, comme l'oxalate de calcium, le sulfate de plomb, etc. Il prend naissance en effet, et se dépose dans des liqueurs qui peuvent être assez fortement acides. De plus, de telles liqueurs le dissolvent plus abondamment à chaud qu'à froid, par suite de décomposition du sel ; et, en raison du phénomène inverse, abandonnée à un lent refroidissement, la solution dépose des croûtes ou grains cristallins de phosphate d'urane, identique avec le sel primitif. Par exemple, on dissout dans l'eau 5 grammes de phosphate monoammonique et 18 grammes d'azotate d'urane cristallisé ; le préci-

Digitized by Google

pité microcristallin est lavé par décantation, puis mis en suspension dans 500 grammes d'eau qu'on chauffe progressivement jusqu'à l'ébullition en ajoutant par petites portions de l'acide chlorhydrique jusqu'à disparition presque totale du précipité. La liqueur étant filtrée chaude dépose, au bout de quelques jours, le phosphate d'urane sous forme de croûtes jaunes ; la présence de sels de calcium accélère beaucoup la cristallisation sans augmenter notablement les dimensions des cristaux. A la loupe ou au microscope, on constate que la matière est entièrement cristallisée et constituée par des lamelles carrées, rarement octogonales, atteignant jusqu'à $0^{mm},5$ de côté, souvent empilées irrégulièrement les unes sur les autres. La densité de ce produit est de 3,03. Soumis à la calcination, le produit perd 18,2 0/0 d'eau, ce qui s'accorde bien avec les formules de Werther et de Debray données plus haut. Enfin les observations suivantes vont nous permettre de déterminer la forme cristalline du sel et de la comparer avec celle de l'uranite : ce sera l'objet principal de la présente communication.

Il y a cinq années, dans l'espoir d'obtenir de l'uranite, j'avais fait en petit la préparation qui vient d'être indiquée, avec addition de chlorure de calcium ; ayant ajouté une quantité suffisante d'acide chlorhydrique pour que le précipité pût se redissoudre à chaud, j'avais filtré la liqueur et recueilli celle-ci dans un tube à essai qui fut, depuis cette époque, oublié sans être bouché, dans un coin du laboratoire, et que je n'ai retrouvé qu'il y a quelques semaines. La solution s'était assez notablement concentrée par suite d'évaporation spontanée ; elle était devenue jaune vif et au fond du tube apparaissait la petite géode de cristaux que j'ai l'honneur de vous présenter. C'est un groupe de tables carrées, transparentes, d'un très beau jaune, englobant malheureusement quelques poussières ; un petit nombre atteignent 2 à 3 millimètres de

Digitized by Google

côté. Évidemment ces cristaux se sont très lentement formés aux dépens des cristaux microscopiques déposés tout d'abord ; les plus gros échantillons ont dévoré les plus petits à la faveur des fluctuations incessantes de la température ambiante, suivant le processus bien connu signalé par MM. Debray et H. Sainte-Claire Deville (1). Il y a lieu d'être frappé de la ressemblance de ces cristaux avec l'uranite naturelle, à tel point que j'ai cru tout d'abord être en présence de ce minéral. Mais les considérations exposées plus haut nous fixent nettement sur la nature du produit : c'est bien le phosphate d'urane

$$PO^4(UO^2)H + 4H^2O.$$

En lumière polarisée parallèle ou convergente, ces tables montrent une double réfraction uniaxe négative; je n'ai pu observer de dislocation sensible de la croix noire, aussi j'admets que les cristaux sont quadratiques. Ils se prêtent assez bien à des mesures goniométriques, et encore, pour ne pas trop détériorer l'échantillon, je n'ai pas détaché les plus gros cristaux. Les faces observées sont la base p (001) prédominante, un prisme que nous appellerons m (110) et plusiéurs octaèdres sur les arêtes. Le plus développé a été choisi pour l'octaèdre primitif $b^{1/2}$ (111), et l'on a encore mesuré $b^{9/4}$ (229) et b^{15} (1.1.30). Les angles des normales sont les suivants, moyennes de nombreuses mesures :

$$pb^{1/2} = 67^\circ\,45'$$
$$pb^{9/4} = 28^\circ\,30'$$
$$pb^{15} = 4^\circ\,39';$$

d'où l'on déduit :

$$a : c = 1 : 1{,}7284.$$

(1) *C. R.*, 1864, t. LIX, p. 40 et 44.

Digitized by Google

Il est intéressant de mettre ces mesures en regard de celles qui concernent les minéraux de la famille de l'uranite :

Uranite ou autunite $(PO^4)^2(UO^2)^2Ca + 8H^2O$	Orthorhombique $\begin{cases} pa^1 = 70°54' \\ pe^1 = 70°41' \end{cases} \sqrt{a^2+b^2} : c = 1 : 2{,}029.$	
Uranocircite $(PO^4)^2(UO^2)^2Ba + 8H^2O$	Orthorhombique ?	?
Chalcolite ou torbérite $(PO^4)^2(UO^2)^2Cu + 8H^2O$	Quadratique $pb^{1/2} = 71°24'$	$a : c = 1 : 2{,}101.$
Uranospinite $(AsO^4)^2(UO^2)^2Ca + 8H^2O$ Zeunérite $(AsO^4)^2(UO^2)^2Cu + 8H^2O$	Quadratique $pb^{1/2} = 71°3'$	$a : c = 1 : 2{,}059.$
Phosphate d'urane $PO^4(UO^2)H + 4H^2O$	Quadratique $pb^{1/2} = 67°45'$	$a : c = 1 : 1{,}7284.$

Cette comparaison montre que le phosphate diuranylique, tout en offrant incontestablement au point de vue chimique et cristallographique un certain air de famille avec l'uranite et ses congénères, s'en écarte trop par la valeur des angles de ses faces pour qu'on puisse y voir un véritable isomorphisme. Du reste, on ne connaît guère d'exemple d'isomorphisme bien constaté entre un acide (surtout un acide monobasique) et ses propres sels de calcium, etc.

J'ai mis en train des expériences de cristallisation spontanée de phosphate diuranique au sein de solutions acidulées, effectuées sur quelques grammes de substance. Si ces cristallisations marchent comme je le désire, je serai heureux, dans quelques années, de faire part à la Société des résultats obtenus et de compléter cette note.

L'arséniate d'urane $AsO^4(UO^2)H + 4H^2O$, décrit par Werther, s'obtiendrait sans doute de même en cristaux mesurables. J'ai déjà constaté sur des cristaux microscopiques

Digitized by Google

qu'il est bien plus biréfringent que le phosphate ; il présente, de plus, des anomalies optiques dues à de nombreuses lamelles hémitropes qui indiquent qu'il n'est pas vraiment quadratique. Ces lamelles se traduisent à l'extérieur par des fines stries sur les bases, tracées parallèlement aux côtés de celles-ci. A part cela, l'aspect des cristaux est le même que celui du phosphate. J'espère aussi pouvoir compléter ces indications.

Je terminerai en disant que des expériences dirigées autrement dans des conditions de température, d'acidité ou de concentration différentes, permettront peut-être de reproduire l'uranite : il n'y a pas lieu de désespérer d'atteindre ce résultat. M. Winkler a en effet réussi la préparation de l'arséniate correspondant. L'influence des conditions d'acidité sur le succès de ces expériences est évidente, et je rappellerai que, dans un essai relaté plus haut, j'ai vu la chalcolite cesser de s'engendrer en liqueur trop acide pour faire place au phosphate d'urane, ce qui est la réaction inverse de celle de Werther (voir page 33).

Laboratoire de M. Arnaud au Muséum.

Les formes du gypse des environs de Paris

Par M. A. Lacroix.

Le mémoire que j'ai l'honneur d'offrir à la Société est consacré à l'étude du gypse de Paris et des minéraux qui l'accompagnent[1].

Le sol de Paris et de ses environs renferme, à des niveaux géologiques différents et avec une abondance extrêmement inégale, du gypse qui s'est formé dans des conditions variées. En ce qui concerne le gypse, je me suis proposé d'étudier

(1) *Nouvelles Archives du Muséum*, IX, 201-296, pl. VIII à XVI, 1897.

Digitized by Google

successivement les formes que prend ce minéral quand il a été produit : 1° par évaporation de lagunes ; 2° par décomposition de pyrites au milieu de sédiments renfermant du calcaire ; 3° par dissolution et recristallisation effectuées aux dépens du gypse formé sous l'influence des deux conditions précédentes.

Gypse lagunaire. — Le gypse *éocène* pouvant être attribué à l'évaporation de lagunes se rencontre au niveau désigné par les géologues parisiens sous le nom de caillasses (lutétien supérieur), dans le bartonien (sables de Beauchamp et calcaire de Saint-Ouen), dans le ludien (étage du gypse parisien), enfin à divers niveaux des marnes *oligocènes* qui surmontent le gypse ludien, exploité dans toute la région parisienne.

Dans le sol de Paris ou de ses environs immédiats, Vaugirard, Issy, Passy, sont les gisements fournissant en plus grande abondance de beaux cristaux de gypse lutétien, toujours transformés aux affleurements en pseudomorphoses siliceuses ou calcaires. Le parc de Saint-Cloud, la plaine Monceau, Bicêtre surtout, fournissent le gypse bartonien, presque toujours également transformé en produits siliceux. Argenteuil, la colline de Montmartre, Ménilmontant, Belleville, Romainville, Noisy-le-Sec, etc., sont surtout à citer comme gisements typiques du gypse ludien et *oligocène.*

Les gisements lutétiens, bartoniens et ludiens ne présentent aucune différence dans la forme des cristaux de gypse qu'ils renferment. Ceux-ci, formés au milieu de lagunes dont l'évaporation était active, sont formés exclusivement par des cristaux lenticulaires, atteignant parfois une taille énorme (plus de 40 centimètres de plus grande dimension dans les cristaux isolés des marnes ludiennes) ou n'ayant parfois que quelques dixièmes de millimètre. Ils sont caractérisés par l'absence ou, tout au moins, l'extrême

Digitized by Google

rareté des faces de la zone prismatique; les formes dominantes sont : e^1 (011), $e^{1/3}$ (031), $a^{3/2}$ ($\bar{2}03$), u ($\bar{2}33$) $a_{2/9}$ ($\bar{5}49$), $b^{1/2}$ ($\bar{1}11$), a_3 ($\bar{2}11$), σ ($\bar{2}34$), δ ($\bar{1}5.21.26$), etc.; elles sont presque toujours arrondies, souvent méconnaissables. Les lentilles ont quelquefois la forme de cônes presque réguliers réunis par leur base; souvent aussi elles sont aplaties ou allongées, et alors le plus souvent suivant une arête a_3a_3.

Ces cristaux, lorsqu'ils atteignent une certaine taille, sont très fréquemment maclés suivant $a^{1/2}$ ($\bar{2}01$). Ces macles sont presque constantes dans les très grands cristaux; j'y ai observé trois types. Dans le premier, il existe un angle rentrant, généralement formé par les faces e^1 (011) ou $a^{9/4}$ ($\bar{4}09$), etc., et un angle saillant aigu constitué par les faces a^1 ($\bar{1}01$), $a^{3/4}$ ($\bar{4}03$), etc.; ou par des formes arrondies intermédiaires entre celles-ci et g^1. C'est à cause de la forme de leurs clivages que ces macles sont depuis longtemps connues par les carriers parisiens, sous le nom de *fers de lance* et de *pieds d'alouette*.

Le second type de macle est caractérisé par l'allongement des cristaux suivant une arête $g^1a^{1/2}$ et par la prédominance des faces de la zone d'allongement. Dans un troisième type, beaucoup plus rare, l'angle rentrant est remplacé par un pointement à quatre faces, formé par les faces m et $\bar{m}$, l'allure générale des cristaux étant la même que dans le type II.

Le gypse en roche qui est exploité dans le ludien et dont le type le plus commun a une structure saccharoïde, avec parfois de grands cristaux porphyroïdes, est constitué par la réunion de très petites lentilles de gypse, conservant toujours leur forme et rarement maclées; tantôt elles sont enchevêtrées les unes dans les autres, sans aucun ciment, tantôt elles sont consolidées par de la calcite ou par de la marne.

Les minéraux accessoires (célestite, produits siliceux secon-

Digitized by Google

daires) ne jouent qu'un rôle extrêmement subordonné dans la constitution de ces roches, auxquelles l'automorphisme des cristaux de gypse donne un cachet très caractéristique.

Dans les marnes oligocènes (marnes supragypseuses, marnes vertes) les cristaux de gypse ne présentent pas toujours la forme lenticulaire. On voit apparaître très souvent dans ceux-ci les faces m (110), g^1 (010), très planes ; les faces a_3 ($\bar{2}11$) ne sont plus arrondies ; enfin les cristaux s'aplatissent suivant g^1 ou s'allongent suivant l'axe vertical et passent aux différents types de l'argile plastique dont il sera question plus loin. Quand les cristaux ne sont pas lenticulaires, la macle la plus fréquente est la macle suivant h^1, présentant des aspects très variés, suivant que les cristaux élémentaires sont allongés suivant l'axe vertical ou, au contraire, suivant une arête a_3a_3. Dans ce cas, les macles à aspect dissymétrique ont une forme en cœur très caractéristique. Quant à la macle suivant $a^{1/2}$, elle se présente dans les cristaux lenticulaires et offre les divers aspects des types I et III décrits plus haut. C'est dans ce genre de gisement que le type III est le plus fréquent.

Il est à remarquer que les différentes formes du gypse qui viennent d'être passées en revue sont celles qui se produisent actuellement dans le gypse des marais salants. Au bourg de Batz (Loire-Inférieure) notamment, les formes lenticulaires dominent parmi les cristallisations effectuées dans les eaux très concentrées, tandis que les formes distinctes avec macles suivant h^1 (100), semblables à celles des marnes oligocènes, abondent particulièrement dans les compartiments des marais salants de concentration moindre.

Gypse provenant d'altération de pyrite. — Le gypse provenant d'altération de pyrite a été étudié dans une note précédente (1). Je me contenterai de rappeler que ses cris-

(1) *Bull. Soc. minér.*, XX, 293.

Digitized by Google

taux sont très rarement lenticulaires ; ils présentent généralement les formes g^1 (010), m (110), nettes, avec souvent aplatissement suivant g^1, a_3 est constant ; il existe, en outre, parfois e^1 (011), $e^{1/3}$ (031), $a^{3/2}$ ($\bar{2}$03), etc. ; la macle h^1 (100) n'est pas rare.

Gypse de redissolution. — Le gypse dissous par les eaux qui circulent dans les assises séléniteuses recristallise soit sur place dans des fentes ou dans des cavités d'origine variée, soit au loin dans les tuyaux de conduite, dans les chaudières, etc.

Les formes observées dans ces divers gisements se rapportent à tous les types énumérés dans les deux conditions précédentes. Les cristaux sont parfois remarquablement nets.

La forme lenticulaire, avec macle $a^{1/2}$, se rencontre notamment dans les fentes de l'albâtre de Lagny, des assises gypseuses de Montmartre, Belleville, etc. Ce sont de très petites lentilles de ce genre qui par leur association constituent le gypse niviforme qui remplit des cavités à divers niveaux du ludien gypsifère.

Des cristaux identiques à ceux de l'argile plastique avec macles h^1 ont été rencontrés dans maints gisements et notamment dans des tuyaux de conduite d'eau à Montmartre, etc. Des macles suivant $a^{1/2}$ avec formes se rapprochant de celles du type III du gypse ludien ont été trouvées dans une chaudière à Saint-Denis (1).

Ce rapide exposé montre l'intérêt minéralogique que présente le gypse parisien ; si aucune des formes signalées ne se rencontre exclusivement dans une seule des deux premières conditions de gisement, chacune de celles-ci, tout au moins, présente un ensemble de formes dominantes suffisamment caractéristique.

(1) *Bull. Soc. minér.*, XII, 515, 1889. Dans cette note, $a_{2/9}$ a été indiquée par erreur au lieu d'une forme arrondie de la zone $a^{3/4}g^1$.

Digitized by Google

Mémoire sur la Fluorine

Par Fréd. WALLERANT.

HISTORIQUE.

Depuis la découverte des anomalies optiques de la fluorine, faite par Brewster en 1815, bien des auteurs ont étudié les propriétés physiques de ce minéral, comme l'indique la bibliographie suivante que j'emprunte à M. Brauns :

D. BREWSTER, *Transact. of the Roy. Society of Edinburg*, VIII ;
— *Philos. Transact. of the Roy. Society of London*, 1816 ;
BIOT, *Mémoire sur la polarisation lamellaire*, 1841 ;
HIRSCHWALD, *Mineral. und Petrog. Mittheilungen von Tschermak*, 1875 ;
E. MALLARD, *Explication des phénomènes optiques anormaux que présentent un grand nombre de substances cristallisées*, 1876 ;
E. HUSSAK, *Ein Beitrag. zur Kenntniss der optischen Anomalien am Flusspath* (*Zeitschrift für Krystallog. u. Mineralogie von P. Groth*, 1887) ;
R. BRAUNS, *Referat über die Arbeit von Hüssak* (*Neues Jahrbuch fur Mineralogie, Geo. und Pal.*, 1888) ;
Fr. POCKELS, *Doppelbrechung durch Drück in Flusspath* (*Wiedemann's Annalen der Pkysik und Chemie*, 37) ;
F. BECKE, *Aetzversuche an Fluorit* (*Mineralogie und Petrog. Mittheilungen von Tschermak*, 1890) ;
R. BRAUNS, *Die optischen Anomalien der Krystalle*, 1891.

Malgré la multiplicité de ces travaux, M. Brauns, dans son dernier mémoire, range la fluorine parmi les minéraux dont les phénomènes optiques ont une origine inconnue. Pour cet auteur, les anomalies optiques sont dues à plusieurs

Digitized by Google

causes ; elles peuvent résulter de l'enchevêtrement de lamelles différemment orientées du dimorphisme de la substance, d'actions mécaniques, du mélange de substances isomorphes, ou enfin d'une perte d'eau. Les phénomènes que nous offre la fluorine doivent-ils être attribués à l'une de ces causes, ou à une cause dont la nature nous est inconnue ? D'après M. Brauns, nous ne sommes pas en état de nous prononcer.

C'est qu'en effet, parmi les travaux cités plus haut, les uns ne font qu'effleurer accessoirement la question des anomalies, comme celui de M. Becke. De son côté, Mallard, après avoir fait une étude complète de plusieurs minéraux et en particulier de l'analcime, faute de temps et de matériaux, se contente d'émettre cette opinion que l'explication donnée pour l'analcime peut être admise également pour la fluorine, comme l'indiquent les lignes suivantes, qu'il consacre à ce minéral :

« Si on découpe des lames minces de fluorine parallèles aux faces du cube, en obtient entre deux Nicols croisés une extinction à peu près complète suivant un côté du carré, et, suivant une diagonale, une marqueterie formée de carreaux gris et noirs, dont les côtés sont respectivement parallèles à ceux du carré. Les diagonales se marquent assez nettement, surtout lorsque le plan de polarisation est parallèle au côté, parce qu'alors elles s'éclairent. On observe en même temps généralement une bordure se distinguant du noyau par une teinte d'une intensité différente.

« Une lame parallèle à une face octaédrique (c'est la direction du clivage) montre une marqueterie analogue, mais formée par un système de lignes parallèles et perpendiculaires aux côtés du triangle de la lame, séparées par les trois diagonales du triangle. Les lignes du réseau s'éteignent respectivement suivant le côté correspondant du triangle.

Digitized by Google

Les diagonales s'éteignent suivant les diagonales elles-mêmes.

« Ces phénomènes montrent clairement que le réseau de la fluorine n'est pas cubique. Ils s'expliquent d'ailleurs simplement en admettant dans la fluorine un assemblage de cristaux rhombiques analogue à celui de l'analcime et se traduisant au dehors, comme dans cette substance, par les stries parallèles aux côtés, et les pyramides surbaissées qu'on observe sur un grand nombre de faces cubiques.

« Seulement, les cristaux composants, au lieu de se séparer assez nettement comme dans l'analcime, se mélangent en général plus ou moins complètement. »

Comme on le verra dans la suite, l'hypothèse de Mallard, tout au moins en ce qui concerne l'origine des phénomènes de polarisation chromatique, était parfaitement justifiée. Il n'en est pas moins vrai que l'assimilation, faite *a priori*, de la structure de la fluorine à celle de l'analcime pouvait être discutée par les auteurs qui attribuent des causes diverses à ces mêmes phénomènes, et par suite appelait de nouveaux travaux.

M. Hussack a étudié des cristaux de fluorine venant de quatorze localités différentes et constaté, outre les phénomènes observés par Mallard, que bien des fluorines présentaient des plages biréfringentes ; ces plages ont des contours excessivement variables, elles sont décrites et dessinées par l'auteur qui arrive à ces conclusions : il n'y a pas de rapport entre la double réfraction et la structure zonale; une élévation de température ne modifie pas les phénomènes optiques qui sont dus à des tensions résultant d'un accroissement irrégulier.

Cette dernière opinion, vers laquelle incline M. Brauns, est également partagée par M. Becke dans son beau travail sur les *Figures de corrosion*. Voulant étudier les conditions

Digitized by Google

de formation de ces figures, M. Becke a pris la fluorine comme exemple. Il a constaté que la fluorine, présentant des anomalies optiques, offrait également des anomalies dans ses figures de corrosion. Quoiqu'il ait rejeté les conclusions qui s'offraient naturellement à lui, il n'en a pas moins constaté, avec la plus grande perspicacité, des faits d'une importance capitale pour le sujet qui nous occupe. Aussi, au lieu de les citer ici, où isolés, ils pourraient être mal compris, je crois préférable de les rappeler plus tard, au moment où ils interviendront naturellement pour appuyer les conclusions. Je dirai cependant de suite que M. Becke a observé sur des cristaux d'Andreasberg des figures de corrosion me paraissant dénoter une structure analogue à celle de l'alun octaédrique.

Enfin, en m'envoyant des cristaux de fluorine, qu'il avait recueillis dans les environs de Paris, M. Munier-Chalmas me communique les résultats suivants des observations faites sur ces cristaux :

« Les petits cristaux pseudo-cubiques de fluorine que j'ai étudiés proviennent du lutétien supérieur de Bicêtre, d'Arcueil, de Clamart et des fondations de la Sorbonne.

« Les échantillons les plus transparents et les plus réguliers étudiés au microscope en lumière simple par transparence m'ont donné les caractères suivants :

« 1° En examinant l'intérieur du cristal par l'une quelconque de ses faces, on voit très nettement apparaître quatre aires triangulaires venant toutes converger vers son centre et présentant de fines cannelures parallèles. Ces surfaces striées ont la forme de triangles isocèles ayant chacun pour base une des arêtes de la face considérée, et pour sommet le centre du cristal pseudo-cubique. Les cannelures d'un même triangle sont toutes rigoureusement parallèles à la base. Ces aires cannelées, qui correspondent à des portions des

Digitized by Google

six plans diagonaux du cube, sont en réalité les surfaces de séparation qui délimitent pour chaque face une pyramide à base carrée.

« Il résulte de cette disposition géométrique que chaque cristal se trouve formé par le groupement de six pyramides à base carrée, la base de chacune de ces pyramides formant une des faces de l'assemblage pseudo-cubique.

« 2° On voit sur quelques-unes des faces de certains cristaux des cassures rectilignes, coïncidant avec les diagonales de ces faces ; ces cassures qui suivent des lignes de moindre résistance indiquent la trace de surfaces de séparation qui passent par les six plans diagonaux du cube. Chaque pyramide fondamentale se trouve ainsi divisée en quatre tétraèdres, ce qui porte à vingt-quatre le nombre des cristaux qui constituent l'assemblage pseudo-cubique.

« 3° D'un autre côté, j'ai constaté, mais très rarement sur quelques cristaux, des cassures également rectilignes, mais parallèles aux arêtes du cube et passant par le centre des faces ; ces cassures qui suivent encore des lignes de moindre résistance me paraissent correspondre à des surfaces de séparation qui passent par trois plans principaux de symétrie du cube.

« Il résulterait de cette disposition que, dans certains cristaux très rares, chacun des vingt-quatre tétraèdres se trouverait divisé en deux tétraèdres secondaires, ce qui porterait à quarante-huit le nombre des individus qui constituent le groupement pseudo-cubique. »

Des observations si intéressantes de M. Munier-Chalmas semble résulter pour la fluorine une structure analogue à celle de l'analcime indiquée par Mallard.

En résumé, les travaux des différents auteurs nous conduisent à des résultats différents sur la structure de la fluorine, les uns la considèrent comme cubique, d'autres

Digitized by Google

lui attribuent la structure de l'analcime, et en troisième lieu il paraît résulter des travaux de M. Becke qu'elle offre la structure de l'alun. Il y avait donc lieu de reprendre la question dans son ensemble et de coordonner les différents résultats. J'ai étudié dans ce but un grand nombre de cristaux de fluorine provenant de localités différentes, et beaucoup d'entre eux m'ont offert les mêmes phénomènes; aussi je ne décrirai que les cristaux offrant un intérêt spécial et permettant d'éclairer le côté théorique de la question.

FLUORINE DE PARIS.

Dans le lutétien supérieur des environs de Paris, on trouve de petits cristaux de fluorine qui ont été considérés longtemps comme une rareté et dont M. Munier-Chalmas a montré l'abondance relative ; les cristaux sont associés à du quartz, de la quartzine et de la calcite. Toutes ces espèces minérales ont pris naissance postérieurement à la couche qui les renferment et ont été abandonnées par les eaux de circulation qui bien souvent les redissolvent pour aller les redéposer plus loin; il n'est pas rare que des cubes de fluorine soient redissous et que leur place soit occupée par du quartz affectant la forme de cube. Il n'est pas sans importance de signaler cette mobilité des molécules, car évidemment elle a pu permettre l'édification plus parfaite de structures moléculaires spéciales qui ne se produisent qu'accidentellement, quand les conditions de cristallisation ne sont que momentanément remplies. D'autre part, cette fluorine est certainement le résultat de réactions chimiques aqueuses, qui se sont produites sans intervention de températures élevées; et, par conséquent, une structure moléculaire, qui n'est pas stable lorsque la température dépasse

Digitized by Google

une certaine limite, a parfaitement pu se réaliser d'une façon normale et régulière. On doit donc s'attendre à rencontrer dans l'étude de cette fluorine des faits intéressants, susceptibles de nous éclairer sur l'origine des phénomènes si particuliers qu'elle présente.

La fluorine affecte la forme de cubes simples ou maclés, et je n'ai jamais constaté l'existence d'autres faces cristallines ; ces cubes ont au plus 2 millimètres de côté, et cette dimension est plutôt exceptionnelle ; la substance est blonde, comme la calcite, au milieu de laquelle elle est disséminée, ce qui la rend difficile à trouver. Assez fréquemment, la surface est attaquée, décomposée ; elle est alors mate et chagrinée, au lieu d'être nettement réfléchissante, comme dans les cristaux sains ; bien entendu, les caractères que j'indiquerai ne se rapportent qu'à ces derniers.

Examen optique. — Si l'on examine ces petits cubes au microscope, en mettant au point les différentes parties intérieures, ils se présentent comme formés de couches superposées parallèles aux faces du cube. Ces couches se coupant sur les diagonales du cube, celles-ci se trouvent nettement indiquées, et il en résulte une division du cube plus ou moins nette en six pyramides ayant pour sommet le centre du cube et pour base les faces du cube. C'est cette division qui a été indiquée par M. Munier-Chalmas.

Si l'on examine les cubes en lumière polarisée parallèle, on constate sans peine qu'ils sont biréfringents. Ils laissent passer une lumière blanche assez brillante, mais n'atteignant jamais le jaune du premier ordre. Ils s'éteignent parallèlement aux côtés ; mais, en outre, en mettant au point les parties internes, on constate l'existence de lamelles isotropes, lamelles parallèles aux faces du cube et d'épaisseur d'ailleurs fort variable et n'ayant aucun rapport avec des couches d'accroissement. Dans ce cas le cube se trouve

Digitized by Google

subdivisé en petits cubes biréfringents, séparés par des lames isotropes.

Mais c'est en introduisant une lame à teinte sensible sur le parcours des rayons que l'on constate l'hétérogénéité de ces cubes ; si la biréfringence est la même dans tous les points, abstraction faite des régions isotropes, cette biréfringence n'a pas partout le même signe : le cube, vu en projection, se partage en quatre secteurs limités par les diagonales ; dans deux des secteurs, opposés par le sommet, la teinte monte ; dans les deux autres elle baisse ; en outre, le changement va en augmentant graduellement du centre aux côtés du cube. Comme le même fait se reproduit pour toutes les faces du cube, il faut forcément admettre que le cube se compose de six pyramides ayant pour sommet le centre du cube, pour bases les faces du cube ; et que la biréfringence de ces pyramides est nulle ou très faible pour les rayons les traversant perpendiculairement à leur base.

Ces six pyramides se recouvrant les unes les autres, il est impossible de les étudier sans les isoler. Leur séparation a, en outre, l'avantage de démontrer d'une façon catégorique leur individualité. J'y suis parvenu de la façon suivante. Un de ces petits cubes, de 1 millimètre de côté, étant collé au baume de Canada par l'une de ses faces sur une lame porte-objet, est usé à l'émeri parallèlement à sa base, de façon à enlever la pyramide supérieure et la moitié des pyramides latérales ; il ne reste donc que la pyramide inférieure collée par sa base sur la lame de verre et portant sur chacune de ses faces latérales une moitié des quatre pyramides latérales, dont il faut la débarrasser. Pour cela, on porte la préparation sur le microscope et on met au point l'un des angles de la préparation avec un objectif fort, que l'on sacrifie. Puis on abaisse l'objectif et on écrase l'angle ; presque toujours on fait ainsi sauter deux des pyramides

Digitized by Google

latérales. C'est ce que montre la figure 1, pl. I, où deux des moitiés des pyramides latérales subsistent. On arrive ainsi, en sacrifiant bien entendu quelques cristaux, à isoler complètement une de ces pyramides.

Dans d'autres cas, c'est la partie restante du cube, à l'exception de l'une de ces pyramides, que l'on peut ménager : si, par exemple, un cube est fixé sur sa gangue de quartz uniquement par l'une de ses faces, c'est-à-dire par la base de l'une de ses pyramides, en tirant sur le cube on le sépare de sa pyramide, qui reste adhérente à la gangue, et l'on a ainsi, comme le montre la figure 2, pl. I, un cube creux.

Il est facile d'étudier une pyramide ainsi séparée et de relever plusieurs caractères importants. D'abord on constate que les faces latérales ne sont pas des faces planes simples, mais qu'elles sont remplacées par des gradins que constituent de petites facettes parallèles aux faces du cube. Les facettes de deux pyramides voisines s'engrènent, et il en résulte cet aspect que je signalais au début de ma description, aspect de couches d'accroissement superposées.

On voit donc qu'au point de vue cristallographique ces pyramides sont, en réalité, des prismes droits à base rectangle, puisqu'elles sont limitées par des couples de faces perpendiculaires deux à deux.

Le développement respectif de ces facettes étant très variable, il en résulte que les faces sont généralement très irrégulières et prennent même assez souvent l'aspect de surfaces courbes. Telles quelles, ces faces coïncident presque toujours avec un plan passant par deux arêtes parallèles opposées du cube et, par suite, ne coïncidant avec un plan de symétrie cristallographique que quand ce cube est réellement un cube. Aussi l'angle des deux faces opposées de la pyramide est-il fort variable.

Digitized by Google

La figure 2, pl. 1, représente précisément un cristal où le plan de séparation ne passe pas par les arêtes. Comme on le voit, la base de la pyramide n'occupe que la partie centrale de la face du cube, le pourtour étant formé par les pyramides latérales. On s'explique, par suite, facilement pourquoi certains cubes paraissent entourés d'une couche brillante plus biréfringente que la partie centrale, puisque la biréfringence d'une lame parallèle à l'axe de la pyramide est notablement plus élevée que celle d'une lame perpendiculaire à cet axe.

Mais la particularité la plus intéressante de ces pyramides, c'est leur subdivision en quatre tétraèdres. Ces quatre tétraèdres ont une face dans le plan de la face du cube servant de base à la pyramide totale; leur sommet commun est au centre du cube, et ils sont séparés par les deux plans passant par le sommet et par les diagonales de la base. A vrai dire, ils ne passent par les diagonales que si la base est un carré, car ces plans sont rectangulaires et coïncident avec deux plans de symétrie du cube ; si donc la base est un rectangle, au lieu de passer par ces sommets, ils viennent couper les grands côtés.

Cette division de la pyramide en quatre tétraèdres s'établit optiquement et mécaniquement.

Les rayons tombant normalement sur la base, si l'on interpose une lame à teinte sensible, on constate sans peine, quoique la biréfringence soit très faible, que, pour deux tétraèdres opposés, la teinte monte, et qu'elle descend pour les deux autres. Dans ces quatre tétraèdres, la vibration n_p coïncide avec le côté du cube qui leur appartient, la vibration n_m est perpendiculaire sur ce côté et, par suite, la vibration n_g est perpendiculaire sur la base commune. Cette orientation des trois axes principaux d'élasticité résultait d'ailleurs de ce fait que le cube s'éteint parallèlement à ses côtés, quelle que soit la face du cube sur laquelle

Digitized by Google

tombent les rayons ; par cela même, en effet, les trois axes du cube sont trois directions conjuguées dans tous les ellipsoïdes d'élasticité et, par suite, les trois axes d'élasticité de tous les individus cristallographiques. Le plan des axes optiques est, par suite, perpendiculaire à la face du cube et parallèle à l'arête du cube, comme l'avait déjà constaté M. Hùssak sur d'autres échantillons de fluorine; c'est l'axe n_g qui est évidemment la bissectrice aiguë.

Mais, bien entendu, le moyen le plus convainquant de démontrer l'individualité de ces tétraèdres est encore de les isoler. Vu l'exiguïté de certaines de leurs dimensions, qui ne dépassent pas $0^{mm},5$, je ne pouvais songer à isoler leurs quatre faces simultanément. On y arriverait certainement en écrasant au hasard un grand nombre de petits cubes et en cherchant dans les débris, mais c'est là se donner une peine inutile pour arriver à un résultat qui ne serait pas démonstratif.

Dans la pyramide précédente chaque tétraèdre a deux faces libres, et il est accolé par les deux autres; il suffit donc maintenant de faire l'inverse, c'est-à-dire d'isoler ces deux dernières faces en laissant le tétraèdre adhérent par la face en gradins. Pour cela, on choisit un petit cube ayant deux faces opposées carrées, de façon à ce que les plans de symétrie du cube perpendiculaire à ces faces soient les plans de séparation des pyramides ayant pour base les autres faces du cube. Puis, plaçant suivant une diagonale de l'un des carrés le tranchant d'un tourne-vis d'horloger de très petites dimensions, on donne un coup de marteau sec sur le manche du tourne-vis ; on obtient ainsi deux prismes à base triangulaire, ayant pour faces latérales deux faces du cube et l'un des plans de symétrie; recommençant la même opération sur l'un d'eux, on a finalement un prisme à base triangulaire, ayant pour faces latérales une face du cube

Digitized by Google

et deux plans de symétrie du cube. Au point de vue auquel nous nous plaçons, ce prisme est formé d'une pyramide ayant pour base la face du cube et de deux tétraèdres adhérents à cette pyramide. Ces tétraèdres n'adhèrent que par leur face en escalier, et les trois autres sont libres, comme le montre la figure 1.

La figure 3, planche I, représente un de ces prismes à base triangulaire reposant sur la face du cube.

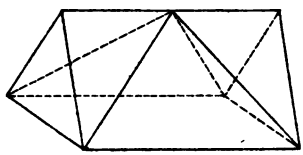


Fig. 1.

Les deux faces par lesquelles chaque tétraèdre adhère à ses deux voisins sont donc ainsi mises à nu, et l'on peut constater qu'elles sont brillantes comme des faces de clivage ; ce sont donc bien des faces cristallographiques.

L'individualité de ces tétraèdres se trouve donc nettement démontrée, non seulement par leurs propriétés optiques, mais encore par le fait qu'ils sont susceptibles d'être isolés.

Cette opinion se trouve confirmée par ce fait, indiqué plus loin, que ces tétraèdres sont susceptibles de s'associer pour donner naissance à des solides autres que des cubes.

Il importe, d'ailleurs, de remarquer, comme pour les pyramides, que ces tétraèdres sont, en réalité, des prismes droits à base triangulaire.

Mais, fréquemment, ces tétraèdres ne sont pas homogènes : si, en effet, on fait une coupe parallèle à une face du cube, on constate presque toujours l'existence de quadrillage, si souvent signalé et résultant de l'existence de trois séries de

Digitized by Google

lamelles isotropes, parallèles à chacune des faces du cube. Ces lamelles sont, d'ailleurs, très irrégulières comme épaisseur, sans aucune continuité. Elles divisent grossièrement le tétraèdre en petits parallélipipèdes biréfringents ayant l'orientation optique indiquée. Mais, cependant, il arrive assez fréquemment que certains de ces parallélipipèdes sont orientés à 90° des autres. Chez eux, la vibration n_m est parallèle à l'arête du cube, au lieu de lui être perpendiculaire; autrement dit, ils sont orientés comme l'un des deux tétraèdres attenant au tétraèdre considéré.

Cette association presque constante, et généralement plus intime qu'ici, de fluorine isotrope et de fluorine biaxe, explique facilement l'extrême variation observée dans la biréfringence de cette dernière; mais il paraît incontestable que cette biréfringence est toujours très faible.

D'après ce qu'il vient d'être dit, il est facile de prévoir les résultats fournis par une coupe quelconque faite dans un cube de cette fluorine. Si, par exemple, on examine une lame de clivage, on la voit optiquement divisée en trois plages dont les lignes de séparation vont du centre du triangle au sommet, et chacune de ces plages s'éteint parallèlement au côté adjacent de la section. Il ne faut pas oublier, en effet, que, dans les deux tétraèdres ayant une face dans la même face du cube, la section a même orientation relativement aux axes d'élasticité optique et que, par suite, on ne peut les distinguer dans cette section; en outre, les cristaux étant à peu près uniaxes, on obtient la direction d'extinction d'une lame, en projetant sur celle-ci la direction de l'axe, c'est-à-dire ici les arêtes du cube.

En outre, la lame de clivage présente un quadrillage résultant de son intersection avec les lames isotropes ; les mailles du quadrillage sont fort mal définies, puisque les lames isotropes sont coupées obliquement, mais on peut

Digitized by Google

cependant reconnaître que leurs côtés sont parallèles aux côtés de la section.

En résumé, on voit que, comme l'avait pressenti Mallard, cette fluorine a bien la même constitution que l'analcime : le cube se décompose en vingt-quatre tétraèdres ayant un sommet commun, le centre du cube, et pour base les triangles que l'on obtient en menant les diagonales des faces du cube ; un axe du cube est une arête commune à quatre d'entre eux ; une diagonale, une arête commune à six d'entre eux ; ils sont accolés deux à deux suivant les plans de symétrie non principaux ; autrement dit, ils sont groupés autour des éléments de symétrie du cube, de telle sorte que, l'un d'eux étant donné, on en déduit l'orientation des autres au moyen de ces éléments de symétrie, à l'exception des plans de symétrie principaux. Mais je ferai remarquer de suite qu'en ce qui concerne les faces cristallines et les propriétés optiques, ces plans sont précisément des plans de symétrie des tétraèdres et que, par suite, tous les éléments de symétrie du cube se retrouvent dans le groupement

A vrai dire, cette disposition symétrique des différents tétraèdres ne résulte pas de l'examem optique ; par suite de la disposition particulière des axes d'élasticité optique ; il n'y a, en réalité, que six orientations optiques, et il se pourrait que la disposition symétrique des tétraèdres fût plus apparente que réelle, et c'est l'étude des figures de corrosion qui peut seule nous permettre de résoudre la question.

Examen par les figures de corrosion. — Je rappellerai d'abord que la partie superficielle des cubes de fluorine est souvent décomposée et que, par suite, elle ne peut fournir que des résultats erronés. Cette restriction faite, l'examen par les figures de corrosion, quoique empirique, a cependant une réelle importance, car ses résultats confirment pleine-

Digitized by Google

ment ceux de la méthode optique, et, par suite, on est en droit d'accepter les nouveaux renseignements qu'ils donnent et que l'étude des phénomènes optiques ne pouvait fournir.

Pour attaquer la fluorine, on peut employer l'acide chlorhydrique étendu d'eau bouillante ; ce réactif très commode a un inconvénient ; sa composition et, par suite, sa température d'ébullition varie d'une façon continue, et, comme la forme des figures de corrosion se modifie avec cette composition et cette température, il peut arriver que l'on obtienne des figures de formes différentes, en opérant dans des conditions identiques en apparence. Mais cet inconvénient est largement compensé par cet avantage que, sous leurs différents aspects, ces figures doivent présenter les mêmes éléments de symétrie et que l'on trouve par cela une vérification dans cette variété de forme.

Mais, avant d'indiquer les résultats que j'ai obtenus par cette méthode, je dois rappeler les beaux travaux de M. Becke. Cet auteur a rencontré dans une fluorine de Cornouailles une constitution se rapprochant certainement beaucoup de celle de la fluorine de Paris ; il a, il est vrai, rejeté partiellement ses résultats comme entachés d'erreur, mais comme, heureusement, il indique ses hésitations, il est possible de reconstituer les faits et de lui en attribuer la priorité.

Dans une section, dit-il, faite un peu au-dessous de la face naturelle d'un cube de cette fluorine, on distingue au milieu un champ quadratique, qui se comporte comme une face naturelle du cube, c'est-à-dire qu'elle présente des figures de corrosion ayant la forme d'ikositétraèdre. Ce champ médian est entouré d'une bande plus ou moins large qui est couverte de figures de corrosion superficielles. Cette bande est d'autant plus large et le champ médian plus restreint que la section est plus voisine du centre du cube.

Digitized by Google

Cette bande se comporte un peu différemment suivant le côté du cube qu'elle côtoie ; les figures superficielles sont, en effet, disposées en séries perpendiculaires au côté adjacent du cube.

La limite entre ces bandes et le champ médian est tout à fait nette, à l'exception des parties voisines des sommets de la plaque qui, par leur éclat brillant, leurs figures de corrosion superficielles, contrastent (?) avec le champ médian qui est mat ; de plus, ici disparaît la disposition en séries des figures de corrosion.

Plus loin, M. Becke ajoute, en parlant, je crois, des figures du champ médian : « J'ai cru, pendant un certain temps, pouvoir atttribuer à ces figures une monosymétrie, car, tantôt les deux faces latérales antérieures, tantôt les deux postérieures, paraissaient plus inclinées que les deux opposées. Mais j'observais ultérieurement que les figures monosymétriques étaient disposées en séries, et je me suis convaincu qu'elles étaient en rapport avec la structure en couches superposées du cristal, et étaient occasionnées par la position irrégulière de la section.

Comme on va le voir, on observe sur les cubes de la fluorine de Paris des faits tout semblables, qui concordent de la façon la plus complète avec les résultats de l'étude optique, et il n'est pas besoin de supposer une inclinaison de la section qui entraînerait la même modification dans toutes les figures du champ médian.

Si l'on fait une section un peu au-dessous de la face d'un cube, cette section intéresse 16 des tétraèdres composant ce cube, comme le montre la figure 2. Les quatre centraux sont coupés parallèlement au plan $n_p n_m$; il y en a quatre longeant les côtés qui sont coupés parallèlement au plan $n_g n_p$, et à chaque sommet deux sont coupés parallèlement au plan $n_g n_m$.

Digitized by Google

Quand les sections se rapprochent du centre, la surface occupée par les quatre premiers diminue ; celle des quatre seconds augmente d'abord, pour diminuer ensuite, et, finalement, quand la section passe par le centre, elle n'intéresse plus que ceux qui occupaient les sommets.

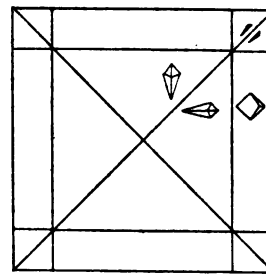


Fig. 2.

Étudions les figures de corrosion de ces quatre groupes.

Les quatre du centre présentent d'une façon générale deux sortes de figures : les unes ont la forme de pyramides régulières à quatre faces ; les plans passant par deux arêtes opposées sont perpendiculaires entre eux, perpendiculaires sur le plan de la face du cube et sur les arêtes de ce cube ; elles présentent les éléments de symétrie de la face du cube et correspondent aux régions isotropes ; les autres sont également des pyramides à quatre faces, mais un seul des plans de deux arêtes opposées est perpendiculaire sur la face du cube et sur l'arête du cube appartenant au tétraèdre considéré ; autrement dit, il y a deux faces adjacentes plus inclinées que les deux opposées, et elles sont tournées du côté de l'arête du cube ; ces figures correspondent aux plages biaxes ; elles n'ont qu'un plan de symétrie qui coïncide avec le plan $n_g n_m$ (*fig.* 2). Mais, dans certains cas, ces figures monosymétriques sont orientées différemment : on

Digitized by Google

en peut voir en effet dont le plan de symétrie est parallèle à l'arête du cube appartenant au tétraèdre considéré ; elles doivent appartenir à ces plages dont nous avons constaté optiquement l'existence et qui sont orientées comme l'un des tétraèdres adjacents. De plus, on en voit quelquefois dont les deux faces les plus inclinées ne sont pas du côté de l'arête du cube ; mais du côté opposé elles doivent appartenir à des plages qui sont orientées comme le tétraèdre qui dans la section (*fig.* 2) est opposé par le sommet au tétraèdre considéré ; l'existence de ces plages n'avait pu nous être révélée par l'examen optique, puisqu'elles sont orientées *optiquement* comme les autres parties du tétraèdre.

On voit que la variation de forme et d'orientation des figures de corrosion s'explique ainsi très logiquement. Il est vrai que l'étude optique et celle par l'attaque se font séparément et que, par suite de la petitesse des cubes, on ne peut réellement constater la superposition de telle figure de corrosion à telle ou telle plage, optiquement définie, du tétraèdre. Mais cette concordance se constate sans difficulté sur des cristaux d'autre provenance, comme on le verra plus loin.

Si l'on passe maintenant aux tétraèdres qui bordent les côtés de la section, on voit, outre les figures quadratiques correspondant aux régions isotropes, des figures monosymétriques pouvant affecter deux formes différentes provenant probablement de variation dans l'intensité de l'attaque. Sur certains cristaux elles ont la même forme que sur la section $n_m n_p$ étudiées plus haut ; elles ont la forme d'une pyramide quadrangulaire ayant deux faces plus inclinées que les opposées, les premières étant du côté de l'arête de la section. Dans d'autres cas elles sont plus superficielles (*fig.* 2) et présentent une face losangique dont une diagonale, perpendiculaire sur l'arête du cube, s'enfonce dans le cristal en se

Digitized by Google

rapprochant de l'arête ; cette face se raccorde avec le plan de la section par l'intermédiaire de quatre facettes latérales, les deux situées du côté de l'arête du cristal étant naturellement plus développées.

Enfin, sur les tétraèdres occupant les sommets de la section et qui sont coupés parallèlement à $n_g n_m$, les figures de corrosion sont asymétriques et même ne me paraissent pas avoir de forme géométrique (*fig.* 2). Elles ressemblent à la figure que produirait un coup d'épingle donné obliquement sur la face ; la figure a sa direction d'allongement parallèle à la diagonale qui aboutit au sommet considéré, la pointe étant du côté de ce sommet. Il en résulte que les figures des deux tétraèdres voisins ne se distinguent pas. En outre, l'attaque à l'acide détermine la formation de canaux perpendiculaires aux côtés et s'arrêtant aux diagonales ; cette disposition se voit bien sur une section passant par le centre du cube, comme dans la figure 4, planche I, et n'intéressant, par suite, que des tétraèdres coupés parallèlement à $n_g n_m$. Il en résulte une division de la section en quatre triangles, ayant pour côtés les diagonales ; mais les figures de corrosion la divisent en quatre carrés ayant pour côtés les droites passant par le centre, et parallèles aux côtés de la section ; il en résulte, en définitive, une division en huit triangles correspondant aux huit tétraèdres qu'intéresse la coupe.

Si l'attaque se fait sur une face de clivage octaédrique, on retrouve dans la disposition des figures de corrosion la division en trois régions indiquées par l'examen optique. Ces figures ressemblent beaucoup à celles de la face $n_g n_m$; tout à fait asymétriques, elles sont allongées perpendiculairement aux côtés du triangle, et leurs pointes sont dirigées vers le centre du triangle. Bien entendu, si la section est suffisamment voisine du centre, elle intéresse six couples de

Digitized by Google

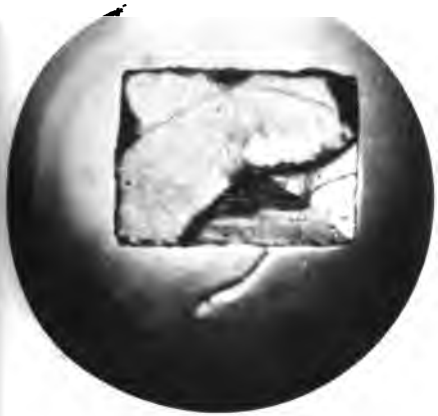


Fig. 1 — Gr. = 30

Fig. 2 — Gr. = 36

Fig. 3 — Gr. = 22

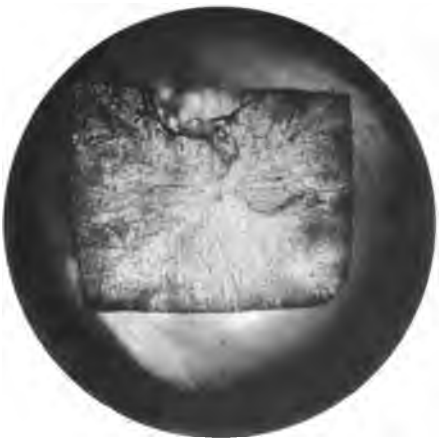


Fig. 4 — Gr. = 15

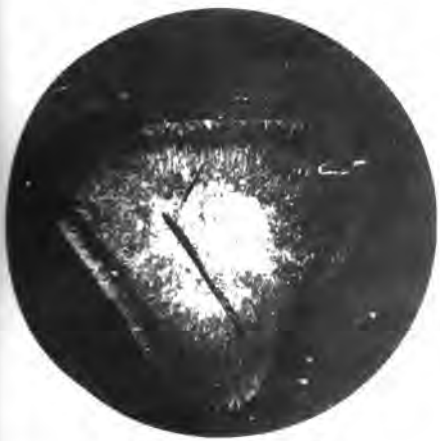


Fig. 5 — Gr. = 6

Fig. 6 — Gr. = 10

Digitized by Google

Digitized by Google

tétraèdres, elle offre par suite les contours d'un hexagone, et on constate une répartition de ces figures en six zônes.

De cette étude des figures de corrosion résultent deux conclusions importantes ; d'abord, puisque sur les deux sections des tétraèdres $n_m n_p$ et $n_g n_p$ on constate dans ces figures un plan de symétrie perpendiculaire à n_p, c'est que le tétraèdre possède lui-même ce plan de symétrie ; cette conclusion, tirée de la considération seule des figures de corrosion, serait évidemment hasardée, puisqu'il est fort difficile de distinguer dans ces figures une symétrie réelle d'une faible asymétrie ; mais il ne faut pas oublier que ce n'est là qu'une confirmation d'un fait basé sur un ensemble d'observations. La seconde conclusion consiste en ce que deux tétraèdres, orientés parallèlement au point de vue optique, ne le sont pas au point de vue moléculaire, mais sont symétriques relativement à un élément de symétrie du cube, et que, par conséquent, les tétraèdres qui ne possèdent qu'un plan de symétrie se groupent de façon à ce que l'ensemble présente tous les éléments de symétrie du cube.

Clivages. — La fluorine monosymétrique présente cinq plans de clivage, les quatre clivages octaédriques de la fluorine cubique et un clivage parallèle au plan de symétrie. Mais tous ces clivages ne sont pas également faciles. Des quatre clivages octaédriques, deux sont plus faciles que les deux autres qui paraissent également moins faciles que le cinquième. Si nous considérons un tétraèdre entrant dans la composition d'un cube, il a deux sommets qui coïncident avec deux sommets du cube ; ce sont précisément les clivages affectant ces sommets qui sont les plus faciles. Sur les cristaux de certaines localités, probablement par suite d'une attaque par un agent inconnu, les traces de ces clivages faciles sont visibles sur les faces du cube et déterminent un quadrillage dont la régularité est vraiment surprenante.

Digitized by Google

L'existence du clivage perpendiculaire à n_p, c'est-à-dire à une arête du cube, entraîne un fait intéressant à signaler. Dans deux tétraèdres ayant en commun une arête du cube, les plans de clivage se confondent ; mais ceux-ci ne se retrouvent pas dans les tétraèdres orientés à 90° des premiers ; aussi les clivages s'arrêtent-ils à la surface de séparation des tétraèdres. Mais le plan qui passe par le centre d'une face évite ces tétraèdres orientés à 90° et se retrouve dans les tétraèdres, situés de l'autre côté du centre. Aussi arrive-t-il assez fréquemment que, par suite de l'existence des trois plans de clivage passant par le centre des faces, un cube présente une division plus ou moins complète en huit petits cubes. Dans la figure 2, planche I, on voit précisément deux de ces cassures divisant le cube en deux demi-cubes.

Telle est l'origine des quarante-huit tétraèdres dont l'existence avait été reconnue par M. Munier-Chalmas.

Action de la pression et de la chaleur. — M. Pokels a constaté que la fluorine cubique se comportait, sous l'influence de la pression, absolument comme les autres cristaux cubiques. Quoiqu'il fût bien évident *a priori* qu'il en serait de même de la fluorine monosymétrique, il était cependant nécessaire de le constater expérimentalement.

Si on comprime dans une pince Bücking un petit cube de façon à ce que la pression s'exerce sur deux faces opposées, les pyramides ayant pour base ces deux faces se comportent d'autre façon que les quatre autres ; sur elles, en effet, la pression s'exerce parallèlement à n_g, tandis que, sur les autres, elle s'exerce parallèlement à n_p ou n_m. Aussi voit-on les deux premières changer de signe très rapidement, le grand indice être remplacé par le plus petit, de sorte qu'avec la teinte sensible elles présentent une teinte montante ou descendante avec les autres pyramides, et, si l'on en fait croître

Digitized by Google

la compression, il arrive un moment où toutes les pyramides présentent la même teinte, et le cube paraît homogène. Si on cesse de comprimer, le cube revient dans son état primitif, et il est important de signaler que, si en comprimant on a dépassé la limite d'élasticité et brisé le cube, chaque morceau reprend sa biréfringence primitive.

En ce qui concerne la chaleur, M. Hussack dit qu'elle ne modifie pas les propriétés optiques de la fluorine ; je suis arrivé à des résultats tout à fait différents et avec la plus grande facilité, grâce à l'obligeance de M. Wyrouboff, qui a bien voulu me prêter son microscope. Si on chauffe graduellement un cube, avant d'arriver à la température de fusion du verre, on voit des taches noires apparaître çà et là, s'étendre progressivement et gagner tout le cube de fluorine qui devient ainsi isotrope. Mais, fait important à signaler, la transformation n'est pas reversible, la fluorine reste cubique en se refroidissant.

On se trouve donc ici dans un cas analogue à celui du carbonate de chaux : la calcite et l'aragonite sont toutes deux stables à la température ordinaire ; mais, à partir d'une certaine température, la calcite est seule stable. Aussi, quand on chauffe l'aragonite, elle se transforme en calcite, qui reste calcite lors du refroidissement.

Groupements. — Pour terminer l'étude de la fluorine de Paris, il me reste à parler des associations des cubes et associations de tétraèdres monosymétriques.

Le cas le plus fréquent d'association de cubes est celui de la macle habituelle de la fluorine, formée de deux cubes ayant un axe ternaire commun, l'un d'eux étant orienté à 60° de l'autre. Le point intéressant à étudier dans cette macle était celui des rapports des différents tétraèdres élémentaires ; or ces tétraèdres semblent être absolument indépendants les uns des autres ; quand l'un des cubes est

Digitized by Google

notablement plus petit que l'autre, il pénètre dans son intérieur en rongeant les tétraèdres de ce dernier ; mais il n'y a aucune fusion entre les tétraèdres de l'un des cubes et ceux de l'autre. Le petit cube peut intéresser un seul tétraèdre du grand ou deux ou trois, suivant sa position. Quand les deux cubes ont à peu près la même taille, autrement dit quand la macle a pris naissance dès le début de la cristallisation, les deux cubes se sont gênés réciproquement dans leur développement ; il en résulte que le sommet commun aux différentes pyramides d'un cube, se trouvant dans le voisinage de la surface commune et même souvent sur cette surface, n'occupe plus le centre du cube, et que certaines pyramides sont très développées relativement aux autres.

Dans d'autres cas, assez fréquents, on observe de petits cubes accolés par une de leurs faces sur la face d'un cube plus grand : tantôt les côtés des premiers sont parallèles à ceux du second ; tantôt ils font un angle de 56° avec eux, ce qui correspond à la troncature 3/2 ; tantôt ils font un angle de 10° correspondant à une troncature 6/1. Mais il n'y a pas seulement accolement, il y a pénétration du petit cube dans le grand de la façon suivante :

La pyramide du petit cube ayant pour base la face commune est formée de quatre tétraèdres, qui, comme je l'ai dit, sont, au point de vue cristallographique, quatre prismes droits à base triangulaire. Or, dans l'association que nous examinons, ces quatre prismes droits pénètrent dans le grand cube, mais en prenant encore ici des faces en échelons, de sorte qu'ils donnent naissance à une pyramide à quatre faces latérales. Autrement dit, ces quatre prismes présentent l'aspect d'un octaèdre dont un sommet pénètre dans le petit cube et le sommet opposé dans le grand. La substance du petit cube pénétrant dans le grand ne fait que se souder à la substance de celui-ci, car les deux édifices moléculaires ne sont pas

Digitized by Google

orientés parallèlement, mais sont symétriques l'un de l'autre par rapport à un plan. Aussi sépare-t-on facilement les deux cubes, et il en résulte une pyramide en creux dans le grand.

Enfin quelquefois on observe, à la surface d'un cube, une petite pyramide régulière à base triangulaire. C'est un sommet cubique limité à sa base par une face octaédrique. Dans ce cas il paraît y avoir simplement accolement et non pénétration des deux cristaux.

Passons maintenant aux associations des tétraèdres élémentaires autres que le cube.

Très fréquemment quatre tétraèdres s'associent pour donner naissance à une pyramide identique à l'une des pyramides à base quadrangulaire prenant part à la formation des cubes ; ces tétraèdres peuvent d'ailleurs se rapprocher plus ou moins de la forme d'un prisme, et, par suite, la pyramide prend l'aspect d'un tronc de pyramide.

Dans une seconde association la petite base du tronc de prisme précédent est évidée, et la cavité est occupée par une seconde pyramide formée également de quatre tétraèdres, comme le montre la figure 3 représentant une coupe.

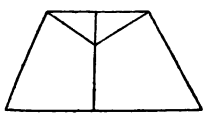


Fig. 3.

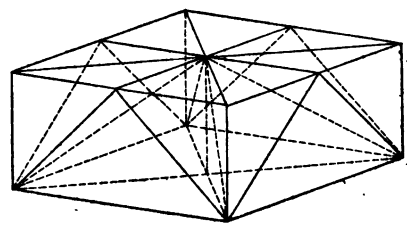


Fig. 4.

Une troisième association donne naissance à un solide ayant la forme d'un cube et absolument constitué comme le demi-cube que l'on obtiendrait en coupant un cube décrit en

Digitized by Google

premier lieu par un plan parallèle à une face et passant par le centre.

Ce solide, représenté figure 4, est donc constitué par huit tétraèdres complets et huit tétraèdres coupés en deux par un plan parallèle à leur plan de symétrie. L'assimilation de ce cristal à un demi-cube est complète non seulement au point de vue optique, mais encore au point de vue de la forme et de la répartition des figures de corrosion. Ainsi la figure 4, planche I, représente la face supérieure d'un tel cristal attaqué par l'acide chlorhydrique ; on y voit très bien la disposition indiquée plus haut des canaux de corrosion, grossièrement perpendiculaire aux côtés du cube.

On voit donc que, dans ces trois groupements, les tétraèdres s'associent de façon que l'ensemble présente certains des éléments de symétrie du cube manquant dans chacun d'eux ; l'ensemble présente en effet un axe quaternaire et quatre plans de symétrie passant par cet axe.

En terminant, je rappellerai qu'assez souvent dans ces groupements les faces du cube ne sont pas absolument perpendiculaires entre elles ; mais il ne faut pas oublier que ces faces n'appartiennent pas au même cristal, mais à des cristaux maclés. Or il est bien rare que dans une macle les cristaux occupent rigoureusement, l'un par rapport à l'autre, la position que leur assigne la théorie. Dans leur développement, les cristaux se gênent l'un l'autre, se repoussent et se font dévier réciproquement. C'est ce qui a lieu assez fréquemment dans les associations de la fluorine, tandis que les cristaux de fluorine isotrope et, par suite, homogène sont rigoureusement cubiques.

Digitized by Google

FLUORINE DE WEARDAL.

Après la fluorine de Paris, j'ai étudié des cristaux de la même substance provenant de gisements divers ; comme beaucoup d'entre eux m'ont présenté les mêmes caractères, je ne décrirai que les beaux cristaux de fluorine violette de Weardal que tout le monde connaît et qui sont si faciles à étudier.

Comme on le sait, cette fluorine se présente le plus souvent en cubes presque toujours maclés suivant un axe ternaire. Elle présente des zônes d'accroissements parallèles aux faces extérieures, zônes qui sont alternativement violettes et incolores ou verdâtres. Elles n'existent nombreuses que dans la partie périphérique du cube, la partie centrale n'en présentant que quelques-unes largement espacées ou n'en présentant pas. De ces zônes d'accroissement les unes sont isotropes, les autres biaxes. Dans les échantillons *que j'ai étudiés*, toutes les zônes biaxes, parallèles à la même face, ont leurs axes *ng* perpendiculaires à cette face. Il en résulte une division du cube en six pyramides ayant pour base les faces du cube et un sommet commun à l'intérieur de ce cube. Ces pyramides sont plus ou moins nettement distinctes suivant la proportion des zônes biaxes et des zônes isotropes. Quand celles-ci sont nombreuses et que les zônes appartenant à deux pyramides se rencontrent par leurs tranches, il est naturel qu'il y ait fusion complète entre elles et qu'il en soit, par suite, de même des pyramides ; mais si, au contraire, les zônes biaxes l'emportent, on constate facilement l'existence d'un plan de séparation des deux pyramides. Ces pyramides, que l'on peut dans certains cas isoler, sont excessivement irrégulières, toujours limitées latéralement par des échelons irréguliers,

Digitized by Google

formés par des facettes parallèles aux faces du cube. Elles prennent dans le cube un développement très variable suivant la position de leur sommet commun, qui peut occuper un point quelconque. Il arrive souvent que l'une d'elles soit très réduite, de sorte que les zônes d'accroissement des quatre pyramides voisines, au lieu de s'arrêter aux plans diagonaux des cubes, viennent presque jusqu'à la face du cube formant la base de cette pyramide réduite.

Quand les zônes d'accroissement n'existent que dans le voisinage des faces du cube, celui-ci présente un noyau central où la division en pyramide disparaît. Tantôt ce noyau est isotrope; tantôt, au contraire, il est subdivisé par des lamelles à faces mal définies, alternativement isotropes et biaxes, et qui sont parallèles aux faces du cube. Les lamelles biaxes sont orientées optiquement comme les zônes d'accroissement des pyramides ; elles ne sont donc pas orientées parallèlement entre elles, mais ont des positions à 90° les unes des autres. Cette partie centrale peut donc être considérée comme résultant de l'enchevêtrement de la pointe des six pyramides.

Ces observations faites sur des cubes ou sur des lames parallèles aux faces du cube porteraient à croire qu'il n'y a que trois orientations optiques au lieu de six, comme dans la fluorine de Paris et, par suite, six pyramides au lieu de vingt-quatre. Mais il n'en est rien : supposons, en effet, que des zônes d'accroissement parallèles à une face ne soient pas toutes orientées parallèlement au point de vue optique, mais qu'elles aient l'une ou l'autre des orientations optiques des tétraèdres de la fluorine de Paris ayant une base dans la même face du cube ; elles auront respectivement pour biréfringence $n_g - n_p$ et $n_g - n_m$, qui diffèrent à peine, et leurs axes de plus petite élasticité n_g seront parallèles ; il ne sera donc pas possible, dans ces conditions, de constater

Digitized by Google

la différence d'orientation par l'emploi de la lumière polarisée parallèle; mais les figures de corrosion compléteront, à ce sujet, nos connaissances.

Ces cubes présentent fréquemment sur leurs faces des pyramides surbaissées formées par la superposition de couches, dont les côtés, à peu près parallèles à ceux du cube, sont de plus en plus petits. Quand le cube est maclé avec un autre, le sommet de la pyramide se trouve généralement sur une arête de ce dernier. Au point de vue optique, les couches, formant les pyramides, présentent les mêmes caractères que les zônes des pyramides internes: tantôt elles sont isotropes, tantôt biaxes et orientées de même ; la seule différence entre la pyramide interne et la pyramide externe consiste en ce que la seconde est formée d'un nombre de couches beaucoup moins élevé ; ce qui est tout naturel, puisqu'elle correspond à une période de diminution dans l'activité cristallisante du milieu. Dans certains cas cependant, cette pyramide externe sert de pyramide interne à un second cube qui se trouve accolé au premier ; les deux cubes sont réunis par un pseudo-octaèdre qui les pénètre tous les deux. Dans ce cas, en tirant sur les deux cubes, on parvient à les séparer, la pyramide interne de l'un restant adhérente à l'autre et lui formant une pyramide externe. Cette séparation met bien en évidence l'individualité des pyramides internes.

En ce qui concerne les couches d'accroissement des deux cubes maclés, les zônes de l'un s'arrêtent brusquement à la rencontre de la surface de l'autre, mais sur ces derniers s'observent naturellement des zônes d'accroissement correspondant par leur âge et leur épaisseur à celles du premier cube. Les relations optiques entre deux zônes synchroniques sont des plus nettes : deux zônes synchroniques ont la même orientation optique relativement au cube auquel elles appar-

Digitized by Google

tiennent. Autrement dit, dans une section perpendiculaire à l'axe ternaire commun aux deux cubes, les vibrations de même signe sont à 60° l'une de l'autre.

Ces cristaux de grande taille se prêtent mieux que les petits cubes de fluorine de Paris à l'examen au moyen des figures de corrosion, surtout pour établir la corrélation entre les résultats que fournit cette méthode avec ceux que fournit l'examen optique. Quand une lame est taillée parallèlement à une face du cube, il n'est pas possible, en effet, de déterminer les propriétés optiques de la couche superficielle de cette lame, en faisant tomber les rayons perpendiculairement sur elle. Car il y a toujours des superpositions, et on ne sait si les phénomènes observés sont dus à la couche superficielle ou à une couche plus profonde. Il n'en est plus de même si on peut faire tomber les rayons parallèlement à la face du cube. On voit alors si la couche superficielle est isotrope ou biréfringente, et, en usant la lame, on peut opérer successivement sur les différentes zônes d'accroissement. On constate de cette façon que, si la zône est isotrope, les figures de corrosion qui se produisent à sa surface sont quadratiques; si elle est biréfringente, ces figures sont semblables à celles décrites à propos de la fluorine de Paris et ne possèdent plus qu'un plan de symétrie.

Mais fréquemment, dans deux régions d'une même zône, ces plans de symétrie sont perpendiculaires entre eux. Autrement dit ces zônes ne sont pas homogènes ; elles se décomposent en régions orientées à 90° les unes des autres, la rotation ayant lieu autour de la perpendiculaire à la face du cube.

Nous retrouvons donc ici les orientations différentes reconnues dans la fluorine de Paris ; mais les quatre tétraèdres, ayant une face dans une même face du cube, se pénètrent pour former une seule pyramide à base carrée. De même, il peut se faire, comme je l'ai déjà dit, que dans la partie

Digitized by Google

centrale du cube les six pyramides se mélangent à leur tour, de façon à donner une région excessivement complexe au point de vue optique, puisqu'il y a six orientations optiques différentes. C'est, comme on le voit, la confirmation pleine et entière de l'hypothèse de Mallard, que l'on peut établir en suivant pas à pas la complexité croissante, depuis la fluorine de Paris, où les vingt-quatre tétraèdres sont distincts, jusqu'à la fluorine de Weardal où la partie centrale montre le mélange de ces vingt-quatre tétraèdres.

FLUORINE D'ALTENBERG.

Les relations que nous venons de constater dans la fluorine de Weardal entre les zônes d'accroissement et la biréfringence ont amené certains auteurs à considérer cette biréfringence comme une conséquence de la structure en couches superposées. Il était donc nécessaire de faire porter les recherches sur des cristaux de fluorine présentant une autre forme cristalline que le cube. J'ai étudié des octaèdres de cette substance ayant des origines différentes, mais je ne parlerai pas de ceux présentant des régions biréfringentes de forme absolument indéterminée et ne se prêtant à aucune remarque intéressante.

Il n'en est pas de même des cristaux de fluorine d'Altenberg, en octaèdres violets fixés sur une roche siliceuse par une de leurs faces; cette face d'insertion est la seule développée, les octaèdres sont très aplatis, et l'on n'en peut détacher que des lamelles de clivage octaédriques. Sa surface est imprégnée de petits grains de quartz microscopique et portent de petites pyramides triangulaires, régulières, probablement dues à la corrosion du milieu qui a déposé la silice. En enlevant une lamelle de clivage, on constate que le centre du cristal est incolore et que la coloration violette

Digitized by Google

est due à une ou deux zônes violettes situées à la périphérie ; on voit également sur le pourtour un petit nombre de zônes d'accroissement qui font défaut dans la partie centrale homogène.

Mais l'intérêt réside dans l'examen en lumière polarisée avec le secours de la lame à teinte sensible. On voit en effet que l'octaèdre est formé d'une infinité de fibres microscopiques biréfringentes orientées avec la plus grande régularité perpendiculairement à chacune des faces de l'octaèdre. Les fibres perpendiculaires à une face ne s'enchevêtrent pas avec les fibres perpendiculaires à une autre face, et les deux systèmes s'arrêtent franchement à leur surface de rencontre ; il en résulte que l'octaèdre est formé en réalité de huit pyramides ayant pour sommet commun le centre de l'octaèdre, et pour base chacune des faces de cet octaèdre. Dans une lame de clivage telle que celle représentée (*fig.* 4, Pl. I), et qui intéresse les six faces latérales de l'octaèdre aplati, le centre est occupé par une région où l'on voit une foule de points brillants résultant de la section transversale des fibres perpendiculaires à la lame, et latéralement on distingue six zônes comprenant des fibres perpendiculaires aux côtés et s'enfonçant dans la préparation. Naturellement on ne peut voir les fibres des six zônes simultanément, les unes étant trop près de la position d'extinction quand les autres présentent leur maximum d'éclat. Ces fibres ont des contours très nets, non seulement quand elles sont entourées de substances isotropes, mais encore quand elles sont accolées, car toutes les fibres parallèles ne sont pas orientées optiquement de la même façon : les unes font monter la teinte de la lame à teinte sensible, les autres la font descendre.

La finesse de ces fibres ne permet pas de les étudier en lumière convergente ; il faut avoir recours uniquement au

Digitized by Google

ressources de la lumière parallèle, pour en déterminer l'orientation. Et d'abord les fibres perpendiculaires aux faces latérales s'éteignent parallèlement à leur projection sur la face de la lame. Il y a donc, par conséquent, au moins six orientations optiques, puisqu'il y a trois couples de fibres parallèles et que chacun montre deux orientations différentes. En outre, les fibres perpendiculaires à la lame s'éteignent dans trois directions à 120° l'une de l'autre. Ce sont là des indications faisant prévoir le résultat, mais ne suffisant pas à l'établir. Pour y parvenir, je me suis servi de la platine de M. Klein, me permettant d'orienter la lame de manière à ce qu'un axe quaternaire de l'octaèdre soit paralèlle aux rayons incidents; on constate alors que, si on fait tourner la préparation de façon à amener les deux autres quaternaires de l'octaèdre à coïncider avec les sections principales des Nicols, tous les systèmes de fibres s'éteignent simultanément. Comme le même fait se reproduit, quel que soit l'axe parallèle aux rayons incidents, il en résulte que les trois axes, rectangulaires entre eux, sont trois directions conjuguées de tous les ellipsoïdes, et par suite les troix axes d'élasticité de tous ces ellipsoïdes. On voit donc que les fibres possèdent les six orientations optiques dont l'existence a été reconnu dans les tétraèdres de la fluorine de Paris; il est donc tout naturel d'admettre que les octaèdres sont formés par accolement de fibres ayant la même constitution que ces tétraèdres.

Un point important à signaler consiste en ce que ces fibres traversent sans interruption les zônes colorées et les zônes d'accroissement.

Dans un grand nombre d'octaèdres, dans les octaèdres de fluorine rose de Saint-Gothard, par exemple, j'ai constaté au milieu de fluorine cubique formant la presque totalité du cristal, l'existence de quelques fibres disposées comme

Digitized by Google

celles que je viens de décrire dans la fluorine d'Altenberg.

Les résultats fournis par l'étude des cristaux d'Altenberg ont beaucoup d'importance au point de vue théorique, car ils démontrent d'une façon absolue qu'il n'y a qu'un rapport accidentel entre les zônes d'accroissement et les régions biréfringentes. Ici, en effet, ces dernières sont normales aux premières et, en outre, les fibres perpendiculaires sur une zône d'accroissement ont des orientations optiques différentes ; l'indépendance ne peut être plus grande.

Si dans les fluorines du type de celle de Waerdal on constate un changement d'orientation optique en passant d'une zône dans une autre, cela tient soit à un changement dans les conditions de cristallisation, soit simplement à l'action du hasard. Si, en effet, une zône se distingue de la zône précédente, cela résulte d'un arrêt dans la cristallisation ; lorsque celle-ci recommence, les conditions seront peut-être légèrement modifiées, et il en pourra résulter un changement corrélatif dans la structure, ou bien encore, si la fluorine existante n'exerce pas une influence d'orientation suffisante sur la nouvelle fluorine, suivant la nature du premier élément déposé, jouant pour la nouvelle zône le rôle de germe de cristallisation, l'orientation et la structure pourront être d'une nature ou d'une autre.

FLUORINE D'ANDREASBERG.

Cette fluorine est généralement cristallisée en petits octaèdres vert pâle, parfaitement homogènes et transparents, ne présentant pas de zônes d'accroissement. Et, cependant, l'examen optique révèle une très grande variété de structure, quoique les octaèdres provenant d'un même échantillon présentent, en général, les mêmes caractères.

Dans certains on constate l'existence de fibres biaxes

Digitized by Google

perpendiculaires aux faces, comme dans la fluorine d'Altenberg, mais plongés dans de la fluorine cubique qui constitue la grande masse du cristal. Dans d'autres on verra de larges bandes biaxes parallèles entre elles, traversant tout le cristal et n'ayant aucune relation avec les faces. De ces bandes séparées par des bandes isotropes, les unes font monter la teinte de la lame à teinte sensible, les autres la font descendre. Mais elles s'éteignent toutes, quand, les rayons traversant le cristal parallèlement à un axe quaternaire de l'octaèdre, les deux autres axes sont parallèles aux sections principales des Nicols. Ici encore il est raisonnable d'admettre que l'on a affaire à de la fluorine monosymétrique.

Mais les octaèdres présentant le plus d'intérêt à tous les points de vue ont été découverts et étudiés par M. Becke, dont j'ai pu répéter les observations, grâce à l'obligeance de M. Scharizer, qui a bien voulu me procurer des octaèdres provenant de l'échantillon étudié par M. Becke. Quoique mes conclusions diffèrent de celles de cet auteur, les résultats de nos observations concordent de la façon la plus complète, et je ne fais que décrire à nouveau les faits observés par M. Becke.

Une section parallèle à une face de l'octaèdre et intéressant six autres faces montre en lumière polarisée parallèle une région centrale hexagonale éteinte et six bandes latérales parallèles aux côtés, très nettement délimitées, de la région centrale, et montrant une biréfringence très faible, mais cependant indiscutable. Plus la section se rapproche du centre de l'octaèdre, plus la région centrale diminue et plus les bandes latérales prennent de l'importance.

Il faut donc admettre que l'octaèdre est, en réalité, formé de huit pyramides ayant pour sommet le centre de l'octaèdre et pour bases les faces de l'octaèdre, et qu'en outre ces huit pyramides sont optiquement uniaxes, les axes étant

Digitized by Google

perpendiculaires aux faces de l'octaèdre. La figure 6 de la planche I représente une section d'un de ces cristaux ; la partie inférieure a sauté pendant l'usure, et on ne voit, outre la partie centrale, que trois bandes appartenant à des pyramides latérales, deux grandes à droite et à gauche et une petite en haut. Comme on en peut juger, les lignes de séparation des trois pyramides sont parfaitement nettes. La figure 5 est la représentation schématique de cette photographie.

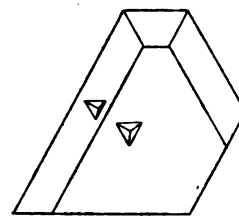


Fig. 5.

L'examen de ces octaèdres, au moyen des figures de corrosion, vient pleinement confirmer ces conclusions et les compléter. Sur une face naturelle de l'octaèdre, l'attaque par l'acide chlorhydrique donne naissance à des pyramides régulières à trois faces dont les côtés sont parallèles à ceux de la face de l'octaèdre, comme cela a lieu dans l'attaque d'une fluorine isotrope. Mais, si l'attaque a lieu sur une section parallèle à la face de l'octaèdre, on peut encore distinguer la région centrale des bandes latérales par la nature et la forme des figures de corrosion. Dans la région centrale, on retrouve les pyramides triangulaires trisymétriques ; mais sur les bandes latérales se trouvent des pyramides triangulaires monosymétriques ; ces pyramides, orientées parallèlement sur deux bandes parallèles, ont une face plus inclinée que les deux autres et parallèle au côté que borde la bande, comme le montre la figure 5.

Digitized by Google

Non seulement l'examen, au moyen des figures de corrosion, confirme les résultats de l'étude optique, mais encore il nous montre que chaque pyramide possède trois plans de symétrie qui seraient les trois plans de symétrie de l'octaèdre passant par l'axe ternaire, si cet octaèdre était formé de fluorine cubique. Comme, en outre, deux bandes parallèles d'une même section présentent des figures de corrosion parallèles, et comme deux sections parallèles symétriques par rapport au centre de l'octaèdre se couvrent de figures de corrosion symétriques par rapport à ce centre, il en résulte que deux pyramides opposées par le sommet sont parallèlement orientées, non seulement au point de vue optique, mais encore au point de vue moléculaire et qu'elles appartiennent au même cristal possédant un centre, et, par suite, trois axes binaires perpendiculaires aux trois plans de symétrie. C'est par suite d'un oubli que, dans une note insérée aux *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, je n'ai attribué à cette fluorine qu'un axe ternaire et trois plans de symétrie.

Cette fluorine ternaire, dont les observations précédentes démontrent nettement l'existence, peut d'ailleurs se mélanger aux autres variétés de fluorine. Les octaèdres d'un autre échantillon de la même localité montrent, en effet, une partie centrale composée de fluorine cubique et de fluorine monosymétrique, soit en fibres perpendiculaires aux faces, soit en plages à contours irréguliers. Entourant cette partie centrale, se trouve une zône de fluorine qui, par ses propriétés optiques et la forme de ses figures de corrosion, doit être rapportée à la variété ternaire ; puis, extérieurement, se retrouve une couche constituée comme la partie centrale. Il est à remarquer que tous les octaèdres de l'échantillon présentent cette zône ternaire ; elle est donc probablement due à une modification dans les conditions de

Digitized by Google

cristallisation, modification qui n'a été que momentanée.

Une remarque qui a son intérêt, puisqu'elle confirme les conclusions relatives à la nature de la fluorine biréfringente de la partie centrale, consiste en ce que, dans l'un des octaèdres, cette partie centrale s'est trouvée divisée en trois régions par des droites partant du centre de la section et perpendiculaires sur les grands côtés de la section ; dans chacune de ces régions les figures de corrosion ont la même forme et la même orientation que dans une section octaédrique de la fluorine de Paris ; elles sont dirigées vers le sommet du triangle formé par les trois grands côtés, puisque ce triangle a ses sommets opposés aux côtés du triangle de section dans le cube. Par conséquent cette partie centrale n'est constituée ni par des fibres, ni par des plages irrégulières, mais bien par des pyramides orientées comme les tétraèdres de la fluorine de Paris.

Il est donc indiscutable que certains cristaux de fluorine d'Andreasberg sont constitués d'après le type de l'alun, c'est-à-dire formés de huit pyramides appartenant à quatre cristaux possédant un axe ternaire, trois axes binaires, un centre et trois plans de symétrie. Ces huit pyramides sont placées symétriquement par rapport aux éléments de symétrie du système terquaternaire, qui leur manquent, de façon à ce que l'édifice total possède tous les éléments de symétrie de ce système.

CONCLUSIONS.

L'étude de cristaux de fluorine provenant de localités diverses nous a amené à distinguer, au point de vue cristallographique, trois variétés de cette substance.

L'une est cubique holoédrique, la seconde est ternaire, c'est-à-dire possède un axe ternaire, trois axes binaires, un

Digitized by Google

centre et trois plans de symétrie à 120° passant par l'axe, la troisième est monosymétrique et ne possède qu'un plan de symétrie. Ces trois variétés peuvent s'enchevêtrer pour donner naissance à un cristal, et l'on peut constater ainsi qu'elles possèdent les mêmes faces, les mêmes clivages, les mêmes éléments de symétrie, en ce sens que les éléments de symétrie des deux dernières existent dans la première et y occupent la même position relativement aux faces et aux plans de clivage. De là résulte tout naturellement que le système réticulaire des deux dernières variétés est identique au système réticulaire de la variété cubique ; autrement dit, les deux dernières variétés ont une structure mériédrique du système cubique.

En s'appuyant sur ces faits, il est facile de se rendre exactement compte de la structure des différentes variétés de fluorine et d'expliquer les associations constatées, mais, auparavant, je dois indiquer l'explication proposée par M. Becke.

M. Becke, se proposant avant tout d'étudier les figures de corrosion, ne s'est occupé qu'incidemment des propriétés optiques et, rejetant *a priori* l'explication fournie par le polymorphisme, il attribue la biréfringence de la fluorine à des tensions internes.

Mais, pour expliquer les anomalies présentées par les figures de corrosions, M. Becke suppose un polymorphisme de structure spéciale à la fluorine. Pour lui, si les cubes de fluorine présentent des figures anomales, c'est que la structure est telle que l'agent de corrosion pénètre plus facilement dans une direction perpendiculaire à la face du cube que dans toutes autres ; mais, pour la fluorine d'Andreasberg, c'est parallèlement aux faces de l'octaèdre que l'attaque doit se produire le plus énergiquement.

Si les réactifs agissent ainsi différemment suivant les

Digitized by Google

directions, cela tient, d'après M. Becke, à ce que la direction suivant laquelle se produit l'accroissement du cristal diffère en réalité des directions qui, cristallographiquement, devraient lui être identiques ; la direction, normale à une face du cube sur laquelle se dépose la matière cristallisante est différente des directions parallèles aux deux autres axes quaternaires. Cette explication est parfaitement admissible, en ne tenant compte que des faits constatés par M. Becke, mais elle est insuffisante pour expliquer les faits énumérés dans la première partie de ce travail. Comment se fait-il, en effet, que la face d'un cube de la fluorine de Paris se divise en quatre secteurs séparés par les diagonales ou en quatre sections séparées par les parallèles aux côtés passant par le centre, comme cela a lieu sur la face d'un demi-cube ? Comment se fait-il que les octaèdres d'Altenberg se décomposent en fibres normales aux faces d'accroissement et différemment orientées ? D'après la théorie de M. Becke, tous les points d'une face d'accroissement devraient être identiques.

Au contraire, tous les faits observés s'expliquent sans aucune difficulté, en s'appuyant sur les théories de Mallard et Sohncke, et les continuateurs de ce dernier, MM. Schœnfliess et v. Fedorow.

Dans la fluorine cubique qui est holoédrique, la particule fondamentale possède quarante-huit orientations différentes ; et les centres de gravité des particules parallèles entre elles coïncident avec les nœuds d'un même système réticulaire terquaternaire. Ces particules sont disposées deux à deux symétriquement par rapport à un plan de symétrie principal.

Supposons que, après avoir tourné autour de leur centre de gravité de façon à ce que cette dernière disposition symétrique se conserve, les particules se retrouvent dans une position telle que les conditions d'équilibre soient satisfaites,

Digitized by Google

il en résultera un corps cristallisé ne possédant qu'un plan de symétrie, mais ayant les *mêmes* systèmes réticulaires que la forme cubique.

Si l'on prend les symétriques de ce corps monosymétrique relativement aux éléments de symétrie de la forme holoédrique, on obtiendra vingt-trois autres corps pour lesquels les conditions d'équilibre sont toujours remplies et ayant les mêmes systèmes réticulaires. Les vingt-quatre corps monosymétriques et la forme holoédrique pourront se mélanger en toutes proportions, puisque les centres de gravité des particules sont sur les mêmes systèmes réticulaires et que chacun d'eux, considéré isolément, est en équilibre.

J'ai supposé que les centres de gravité ne bougeaient pas ; il en résulte que la densité ne doit pas changer : c'est le cas de la fluorine. Mais, en général, les conditions d'équilibre nécessitent soit une contraction, soit une dilatation, souvent même une légère déformation du système réticulaire et, par suite, une variation plus ou moins marquée de la densité. Ce changement dans la densité est accompagné de modifications dans toutes les autres propriétés physiques, et c'est pourquoi il n'est pas possible de calculer exactement les constantes physiques de l'une des formes en fonctions des constantes physiques de l'autre. J'ai laissé indéterminée la nouvelle orientation de la particule relativement à la première ; mais, pour bien faire comprendre les choses, il n'est peut-être pas inutile de préciser par un cas particulier susceptible de se rencontrer. Dans la forme holoédrique il y a vingt-quatre particules d'une espèce symétriques des vingt-quatre particules de l'autre espèce, relativement à un plan de symétrie principal. Soient A et A′ deux particules satisfaisant à cette condition ; si toutes les particules de l'espèce de A s'orientent parallèlement à A, et toutes les particules de l'espèce de A′ s'orientent parallèlement à A′,

Digitized by Google

il en résultera, si les conditions d'équilibre sont remplies, un corps monosymétrique.

Mais si, au lieu d'orienter toutes les particules parallèlement à A et A′, on les oriente parallèlement à chacun des vingt-quatre groupes de particules, on obtiendra vingt-quatre édifices cristallins, symétriques les uns des autres, relativement aux éléments de symétrie de la forme holoédrique et qui satisferont tous aux conditions d'équilibre, si le premier y satisfait.

On déduit de même la forme ternaire de la forme cubique. Dans celle-ci les particules sont deux à deux symétriques par rapport aux trois plans de symétrie passant par un même axe ternaire, et ces groupes sont, trois par trois, symétriquement placés par rapport à cet axe ; ces nouveaux groupes sont à leur tour, deux par deux, symétriques par rapport au centre. Si, après avoir tourné autour de leur centre de gravité, de façon à conserver cette symétrie, les particules se retrouvent dans une position d'équilibre, elles constitueront un nouveau corps n'ayant que cette symétrie, mais possédant toujours les mêmes systèmes réticulaires que la forme holoédrique. En prenant les symétriques du corps ternaire relativement aux éléments de symétrie de cette dernière forme, on obtiendra trois nouveaux corps, et tous les quatre pourront se mélanger intimement avec la forme holoédrique et les vingt-quatre cristaux monosymétriques.

Il me reste maintenant à expliquer le groupement des cristaux monosymétriques et des cristaux ternaires en édifices présentant les éléments de symétrie du système terquaternaire. Cette explication est des plus simple, grâce aux lois établies par Mallard sur les groupements des cristaux mériédriques.

Mallard a montré, en effet, que ces cristaux se groupaient

Digitized by Google

de façon à ce que l'édifice résultant possède les éléments de symétrie du système réticulaire faisant défaut dans chacun des cristaux pris isolément. Or la fluorine ternaire, parmi les éléments de symétrie de son système réticulaire, ne possède qu'un axe ternaire, trois axes binaires, un centre et trois plans de symétrie ; les cristaux de cette fluorine se grouperont donc symétriquement autour des éléments de symétrie manquant, les axes quaternaires et les plans de symétrie principaux, et il en résultera un cristal formé de quatre cristaux, comme cela a lieu dans l'octaèdre d'Andreasberg.

De même, la forme monosymétrique ne possédant qu'un plan de symétrie, ses cristaux se grouperont autour des éléments déficients et donneront un solide formé de vingt-quatre cristaux, qui, dans le cas présent, est un cube. Ce cube, comme on le voit, est la représentation d'un domaine complexe, dont l'élément fondamental est lui-même un domaine complexe possédant un plan de symétrie.

L'explication des phénomènes optiques que présente la fluorine est donc des plus simples. Il n'est pas nécessaire de faire appel aux lois de groupement des formes-limites, mais uniquement aux lois régissant les formes mériédriques. Il n'y a évidemment pas là une différence essentielle, puisqu'en définitive les premières ne sont qu'une généralisation des secondes ; mais l'explication donnée a l'avantage de serrer de plus près les faits observés et de mettre un accord complet entre la théorie et l'observation.

Digitized by Google

Minéraux nouveaux.

Tripuhyite. — Ce minéral se trouve dans le sable en agrégats microcristallins d'une couleur jaune verdâtre. — Examinés au microscope, les grains sont fortement biréfringents et biaxes.

La densité est 5,82 à 19° C.

Infusible au bec Bunsen, mais noircit et donne des vapeurs colorant la flamme en bleu gris pâle. Insoluble dans les acides chlorhydrique et azotique.

L'analyse a donné les résultats suivants :

Sb^2O^5, 66,68 ; FeO, 27,70 ; CaO, 0,82 ; SiO^2, 1,35 ; Al^2O^3, 1,40 ; TiO^2, 0,86.

Alcalis, 1,19. Total, 100.

L'état d'oxydation du fer n'a pu être déterminé. S'il est à l'état ferreux, la formule $2FeO,Sb^2O^5$ représente la composition du minéral. Ce minéral a été trouvé à Tripuhy, Minas Geraes (Brésil), associé à deux antimoniates : la lewisite et la derbylite, dans des sables provenant probablement de la décomposition de schistes à muscovite. (E. Hussak et G. T. Prior, *Mineralogical Magazine*, XI, p. 302, 1897.)

Le Secrétaire, gérant,
Paul GAUBERT.

Tours. — Imprimerie Deslis Frères.

Digitized by Google

BULLETIN

DE LA

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE MINÉRALOGIE

ANNÉE 1898. — BULLETIN N° 3.

Compte rendu de la séance du 12 mars 1898.

PRÉSIDENCE DE M. LE CHATELIER.

M. PAVOT fait une communication sur le caillou de Rennes.

Production artificielle de la périclase par un nouveau procédé

Par M. A. DE SCHULTEN.

Au cours des travaux qui m'ont fourni de la brucite artificielle (1) par l'action de l'hydrate de potassium, à une température d'environ 200°, sur l'hydrate de magnésium amorphe, j'ai observé qu'en portant la température de l'hydrate de

(1) *Comptes Rendus*, t. CI, p. 72.

Digitized by Google

potassium jusqu'au rouge on obtient, au lieu de l'hydrate de magnésium, de l'oxyde de ce métal cristallisé en octaèdres réguliers, limpides. J'ai tenu à signaler ce procédé très simple de reproduction de la périclase, espèce minérale qui, comme on sait, a été obtenue antérieurement par divers procédés (1).

Je fonds 200 grammes de potasse caustique avec 8 à 9 grammes de magnésie, dans une capsule d'argent, au rouge vif, je laisse refroidir lentement et je sépare des cristaux de périclase par un lessivage à l'eau du chlore, ce qui détermine un dégagement abondant d'oxygène. Les cristaux sont purifiés par un traitement à l'acide azotique étendu, qui dissout la matière amorphe et les cristaux d'argent.

L'analyse des cristaux a donné 99,92 0/0 d'oxyde de magnésium avec des traces de fer.

Les cristaux se dissolvent très lentement dans les acides à froid. Leur densité est de 3,566 à 15°.

(1) *Synthèse des minéraux et des roches*, par F. Fouqué et Michel Lévy, p. 380.

Digitized by Google

BULLETIN

DE LA

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE MINÉRALOGIE

ANNÉE 1898. — BULLETIN N° 4.

Compte rendu de la séance du 21 avril 1898.

PRÉSIDENCE DE M. LE CHATELIER.

M. le Président annonce deux présentations.

M. FROSSARD présente un échantillon de wawellite vert foncé sur quartz, trouvé dans le voisinage d'un filon d'ophite, sur la rive gauche du ruisseau d'Oubac, entre une carrière de marbre abandonnée et le col du Couret de la Lit, Versant sud de la vallée de Suponne près de Bagnères-en-Bigorre.

M. WYROUBOFF fait une communication sur le réseau du chlorate de soude.

Digitized by Google

Sur les propriétés optiques du calomel (protochlorure de mercure)

Par M. H. Dufet.

De Senarmont a donné les indices du calomel pour le rouge, $n_0 = 1,96$, $n_e = 2,60$. Ces nombres sont cités par Des Cloizeaux dans l'*Annuaire du Bureau des Longitudes*, d'après une communication de de Senarmont. Il en résulte que le calomel est de beaucoup le corps le plus biréfringent qui existe. La biréfringence atteindrait 0,64 (*rouge*), tandis qu'elle est 0,347 (*rouge*) dans le cinabre, 0,287 (*id.*) dans le rutile, 0,17 dans la calcite. Dans le triphénylbenzène (1, 3, 5), étudié par M. Arzuni (*Groth Zeits.*, t. I, p. 446), qui est biaxe avec un angle extérieur 2E égal à 18° 25′ pour le rouge, la biréfringence $n_g - n_p$ atteint 0,35 ; l'auteur déclare que c'est le corps le plus biréfringent qu'on connaisse ; il ignore ou néglige l'observation de de Senarmont.

Elle est pourtant parfaitement exacte. J'ai pu la vérifier sur des cristaux artificiels de calomel assez gros pour permettre des mesures précises. Dans ces cristaux qui sont, comme on sait, quadratiques et allongés suivant la zone du prisme, j'ai taillé ou fait tailler par M. Werlein, plusieurs prismes dont une face était constituée par une face *m*. Dans ces conditions on est presque complètement à l'abri des erreurs d'orientation. Malgré la valeur très grande de la biréfringence, un défaut d'orientation de la seconde face n'amène qu'une erreur insignifiante dans l'indice extraordinaire, vu la petitesse forcée de l'angle du prisme. Avec un prisme de 30°, on calcule facilement qu'un angle de 1° entre l'arête du prisme et l'axe du cristal ne donne pour l'indice extraordinaire qu'une erreur de 0,0000121.

Digitized by Google

Pour l'indice ordinaire et la raie D, j'obtiens avec trois prismes les nombres suivants :

	Angle	Déviation	Indice
(I)	26° 17′ 45″	27° 2′ 45″	1,97333
(II)	23° 0′ 10″	23° 20′ 0″	1,97315
(III)	14° 51′ 57″ 5	14° 42′ 50″	1,97328

Moyenne : 1,97325

Les prismes I et III donnent, pour l'indice extraordinaire,

	Déviation	Indice	$n_E - n_O$
(I)	48° 2′ 52″ 5	2,65626	0,68293
(III)	25° 19′ 2″ 5	2,65543	0,68215

Les observations sont rendues difficiles dans le spectre extraordinaire par la faible intensité de la lumière, causée par le très grand pouvoir réflecteur d'une substance aussi réfringente.

J'ai fait des mesures de la biréfringence avec des prismes recouverts de lames de verre collées au baume ; les images sont meilleures ; mais l'incertitude de la correction est telle que la mesure absolue de l'indice ordinaire ne doit pas entrer dans les moyennes. J'obtiens avec le prisme II, et deux autres prismes (IV et V) ayant pour angles 23° 2′ et 33° 18′ 45″, les valeurs suivantes de la biréfringence :

(II)	0,68247
(IV)	0,68319
(V)	0,68332 (?)

La moyenne des quatre premiers prismes est

0,68268,

d'où, pour l'indice extraordinaire (raie D),

2,6559.

Digitized by Google

J'ai cherché les indices pour les raies du lithium et du thallium, en mesurant, pour les différents prismes étudiés, la différence de déviation avec celle due au sodium. J'obtiens ainsi pour les différences d'indices :

PRISME	INDICE ORDINAIRE		INDICE EXTRAORDINAIRE	
	$n_D - n_{Li}$	$n_{Tl} - n_D$	$n_D - n_{Li}$	$n_{Tl} - n_D$
I	0,01773	0,01738	0,05327	0,05700
II	1752	1799	5566	5678
III	1767	1757	5503	5716
IV	1768	1720	»	»
V	1761	1785	»	»
Moyenne	0,01764	0,01760	0,05532	0,05698

Il en résulte que la dispersion est très grande, surtout pour l'indice extraordinaire. Je ne connais, dans les déterminations faites par le prisme, que deux corps où elle soit plus forte ; dans la Proustite, pour l'indice ordinaire, la différence $n_D - n_{Li}$ atteint, d'après Fizeau, 0,11, ce qui est le double de la valeur observée pour le calomel ; dans le rutile, d'après Baerwald, on a pour les mêmes radiations 0,0614 (ind. extr.) et 0,0487 (ind. ord.). Mais ensuite on tombe à 0,0294 [ind. max. du soufre (Schrauf)], 0,028 (blende), 0,009 (diamant).

Comme résultat moyen nous avons donc :

Raies	Indice ordinaire	Indice extraordinaire.
Li	1,95560	2,6006
D	1,97325	2,6559
Tl	1,99085	2,7129

Digitized by Google

La biréfringence augmente rapidement avec l'indice, puisqu'on a :

	$n_E - n_O$
Li	0,6450
D	0,6827
Tl	0,7220

En lumière convergente, une plaque taillée perpendiculairement à l'axe optique montre des anneaux qui sont par places un peu disloqués. Il est difficile d'affirmer par là l'existence d'anomalies optiques ; le calomel est très facilement clivable parallèlement aux faces du prisme et se taille difficilement dans la direction normale. Il semble s'y produire des déformations permanentes, comme dans le gypse ou le sel gemme. Sur une plaque de $0^{mm},95$ d'épaisseur montrant des anneaux non déformés vers le centre, j'ai mesuré de 10 en 10 le diamètre extérieur des cent premiers anneaux ; l'angle extérieur est de 92° pour le centième anneau. Les valeurs calculées avec les données précédentes sont parfaitement d'accord avec les mesures expérimentales.

Voici d'ailleurs les nombres :

ORDRE de la frange	ANGLE AVEC LA NORMALE observé	ANGLE AVEC LA NORMALE calculé	DIFFÉRENCE
10	13° 30′ 40″	13° 28′ 50″	+ 1′ 50″
20	19° 11′ 50″	19° 11′ 40″	+ 0′ 10″
30	23° 39′ 15″	23° 40′ 30″	— 1′ 15″
40	27° 32′ 0″	27° 32′ 40″	— 0′ 40″
50	31° 1′ 10″	31° 2′ 10″	— 1′ 0″
60	34° 14′ 10″	34° 17′ 0″	— 2′ 50″
70	37° 19′ 0″	37° 21′ 20″	— 2′ 20″
80	40° 16′ 20″	40° 18′ 20″	— 2′ 0″
90	43° 9′ 0″	43° 10′ 40″	— 1′ 40″
100	45° 59′ 0″	45° 59′ 50″	— 0′ 50″

Digitized by Google

Les nombres observés ont reçu une faible correction, n'atteignant pas une minute, pour tenir compte de l'inclinaison de l'axe optique avec la normale à la plaque, angle qui était d'environ 30′.

Les différences sont trop petites, à côté des erreurs provenant de l'orientation ou de l'évaluation de l'épaisseur, pour qu'on puisse rien affirmer, sinon que ces mesures sont bien d'accord avec les mesures directes de l'indice et de la biréfringence, et que la construction d'Huyghens continue à bien rendre compte des phénomènes, même pour un corps aussi exceptionnellement biréfringent.

Analyse spectrale des minéraux non conducteurs, par les sels fondus

Par M. A. de Gramont.

I. — Exposé de la méthode.

Dans un précédent mémoire paru ici même (1), j'avais étudié les spectres donnés par une étincelle électrique entre deux fragments de minéraux métalliques, bons conducteurs ou volatilisables et reliés chacun à l'un des pôles d'une batterie de bouteille de Leyde, incessamment rechargée par une bobine de Rhumkorff.

J'ai examiné, dans des recherches plus récentes (2), l'action d'une étincelle de même nature sur les sels fondus maintenus à l'état liquide ou pâteux à l'extrémité aplatie en

(1) Analyse spectrale directe des minéraux. *Bull. Soc. fr. de Min.*, t. XVIII, p. 171, 373; 1895.

(2) *Comptes Rendus*, 8, 15, 29 juin 1896.

Digitized by Google

spatule d'un gros fil de platine pur placé à peu près horizontalement à la flamme. Un second fil, incliné, amène l'étincelle ; l'ensemble forme une sorte de V couché, le sommet de l'angle aigu étant le point de jaillissement de l'étincelle sur l'extrémité aplatie portant le sel fondu.

Ayant constaté au cours de ces recherches que les silicates naturels réduits en poudre fine et dissous dans un carbonate alcalin fondu donnaient, comme des sels fondus ordinaires avec le dispositif précédent, le spectre du silicium, j'ai cherché à leur appliquer cette méthode générale des spectres de dissociation. La plupart des éléments constituants ou accessoires des silicates ont manifesté leur présence de la même manière.

Je me suis donc proposé d'exposer ici ce procédé de recherche, qui permet ainsi de soumettre à l'analyse spectrale toute la série des minéraux autrefois comprise sous la dénomination de « pierreux », lesquels, par leur absence complète de conductibilité, échappaient à l'analyse spectrale directe. Non seulement les silicates, mais aussi les sulfates, sulfures, fluorures, carbonates, oxydes et, en dehors des minéraux, les précipités insolubles et non conducteurs, successivement obtenus dans les séparations analytiques de la voie humide, donnent des résultats satisfaisants par cette méthode d'investigation. Comme pour toute réaction spectrale, la sensibilité de diagnostic diffère notablement d'un corps simple à l'autre ; elle dépasse, pour la plupart, celle du chalumeau ou de la voie humide.

Il suffit de prendre une faible quantité de la matière à étudier, finement pulvérisée dans un mortier d'agate et intimement mélangée avec le sel destiné à la désagréger et à la dissoudre. Une fusion préalable du mélange avant l'essai est inutile ; il est liquéfié par l'action de la source de chaleur, bec Bunsen ou éolipyle, à la place qu'il doit occuper, à

Digitized by Google

l'extrémité aplatie du fil de platine inférieur, dans le dispositif en V couché. On a soin seulement de ne faire jaillir l'étincelle que lorsque la masse est pâteuse ou liquéfiée.

Il est avantageux d'avoir un excès de sel, allant jusqu'à 2 ou 3 parties pour 1 du minéral examiné.

Le sel fondu employé comme dissolvant igné du minéral a été de préférence le carbonate de lithium, à cause de la simplicité de son spectre, de sa facile fusibilité et de sa rapidité à dissoudre les silicates. Le carbonate de sodium donne de bons résultats ; mais sa moindre fusibilité et le retard dans l'apparition des spectres obtenus par son attaque en rendent l'usage moins commode. Les deux sels ont d'ailleurs, vis-à-vis de certains corps, des effets différents, principalement au point de vue de la sensibilité. Ils ont été employés concurremment dans la plupart des essais, et la supériorité de puissance dissolvante du sel de lithium, à température relativement basse, m'a paru en conseiller l'emploi dans toute analyse de silicate par désagrégation ignée.

Lorsque l'étincelle, très courte, jaillit à travers le sel pâteux ou fondu, les raies de l'air (trait de feu) disparaissent, et l'on n'a pas à en tenir compte. Elles redeviennent visibles après la volatilisation du sel fondu, ou si la flamme cesse d'envelopper celui-ci.

J'ai tenté d'utiliser d'autres sels. L'acide borique et les borates m'ont paru très mauvais conducteurs, soit fondus, soit à l'état de vapeur ; l'étincelle les traverse difficilement en donnant le spectre de platine des fils et celui de l'air. Les lignes du bore ne peuvent d'ailleurs être obtenues que dans des conditions toutes spéciales de puissance d'étincelle et avec le bore libre. Il n'y a donc lieu ni de se servir des sels de l'acide borique comme dissolvant spectral des composés minéraux, ni de rechercher le bore par son spectre de lignes ; pour cela, on aura recours aux bandes vertes

Digitized by Google

bien connues et très sensibles du spectre de flamme de l'acide borique.

On peut, au contraire, faire usage des bisulfates alcalins pour la recherche des métaux, sans dépasser une faible condensation, insuffisante pour amener les raies du soufre dues au bisulfate, ou bien même avec une plus forte condensation et en se bornant à l'étude des parties plus réfrangibles du spectre, où le soufre ne se manifeste pas.

Si la composition présumée ou l'aspect du minéral font craindre la formation de composés métalliques réductibles et pouvant attaquer le platine, on remplacera la spatule inférieure par un morceau de graphite de Sibérie bien pur, creusé en coupelle pour contenir la goutte du mélange fondu, et maintenu dans la flamme par une pince à bouts de platine.

Appareils producteurs de l'étincelle. — La pile, la bobine et le condensateur ont été décrits en détail dans « l'analyse spectrale directe des minéraux ». Je les ai employés sans modifications pour les recherches exposées ici. Je rappellerai seulement que la pile Trouvé, de quatre éléments au bichromate, actionnait une bobine de Rhumkorff capable de donner une étincelle de 50 millimètres (sans condensateur intercalé).

Le condensateur était constitué par six bouteilles de Leyde dont chaque armature avait une surface d'environ $0^{mq},12$, et qu'on disposait en quantité dans le circuit extérieur de la bobine. Un commutateur à godets de mercure et cavaliers métalliques permettait d'introduire successivement chacune des jarres dans le circuit et, par suite, de porter la surface de condensation de $0^{mq},12$ à $0^{mq},72$.

Pour la recherche des métaux par leurs raies capitales seulement, et en éliminant les spectres des métalloïdes, la condensation était réduite à une jarre. Deux de celles-ci

Digitized by Google

donnaient déjà les doublets du silicium, mais trois ou quatre étaient nécessaires pour l'étude des autres métalloïdes.

Le dispositif en V couché, dont j'ai parlé plus haut, était maintenu à l'extrémité dans la flamme, par un support à crémaillère dont les deux pignons portaient des tiges d'ébonite à tête de laiton où des vis de serrage fixaient les fils ou spatules de platine, tout en permettant d'en faire varier l'inclinaison (angle du V) et l'écartement. Ce support peut être celui des pinces à bouts de platine de l'analyse directe.

Spectroscope. — Mesure des longueurs d'ondes. — Il a été fait usage du même spectroscope, à vision directe et à deux prismes composés, que dans toutes mes recherches précédentes. Je rappellerai que cet appareil, très dispersif pour un appareil de laboratoire de chimie et d'usage courant, a l'inconvénient d'être assez absorbant. La plus grande partie du spectre, celle comprise entre $\lambda = 700$ et $\lambda = 420$, était mesurée avec deux prismes ; la dispersion ainsi obtenue donnait pour les deux raies D_1 et D_2 un écartement d'une division micrométrique dont on pouvait évaluer facilement 0,2 et même 0,1 avec un peu d'habitude. La partie plus réfrangible que $\lambda.420$, c'est-à-dire le violet, nécessitait la suppression d'un des systèmes de prismes. L'appareil, rendu ainsi moitié moins absorbant, dédoublait encore facilement la raie du sodium. En général, l'espace 700 à 420 suffit amplement à la recherche de tous les corps, par leurs raies les plus sensibles, sauf en ce qui concerne le potassium, dont les lignes violettes sont d'une réaction plus délicate.

Les longueurs d'onde données dans ce travail ont été obtenues au moyen de courbes de transformation des lectures de l'échelle du spectroscope, les ordonnées représentant les longueurs d'onde à 1 millionième de millimètre pour 5 millimètres, et les abscisses étant les divisions de l'échelle micrométrique à une division pour 2 millimètres. Ces

Digitized by Google

courbes ont été entièrement refaites en les rapportant non plus aux nombres d'Angström et de Thalèn, comme précédemment, mais à ceux du spectre solaire de Rowland, et par comparaison avec les principales raies du spectre du fer, mesurées par Kayser et Runge.

Les longueurs d'onde qui vont suivre diffèrent donc de celles de mes travaux antérieurs à 1897, d'environ une unité d'Angström, c'est-à-dire *un dix-millionième de millimètre à ajouter aux anciennes pour les rendre comparables à celles-ci.*

J'ajouterai d'ailleurs que l'erreur probable des valeurs obtenues avec mon spectroscope, même à deux prismes, est certainement de l'ordre de grandeur de cette correction, sinon un peu supérieure.

En ce qui concerne les propriétés générales des spectres de dissociation et les considérations qu'ils peuvent suggérer, je me permettrai de renvoyer aux « observations sur les spectres des composés », que j'ai données dans le *Bulletin de la Société chimique* (3e série, t. XVII, p. 774 ; 1897). Je rappellerai seulement qu'on aura affaire ici à des spectres de lignes, représentant chaque élément par ses raies individuelles comme s'il était seul et à l'état de liberté. Je ne donnerai donc pas à nouveau les spectres de lignes des corps simples déjà étudiés dans l'analyse spectrale directe des minéraux, à moins qu'ils n'aient été l'objet d'un examen plus approfondi dans les minéraux non conducteurs étudiés ici.

Avant de parler de la manière dont les différents minéraux se comportent dans cette méthode d'examen spectral, nous passerons rapidement en revue les spectres de lignes caractéristiques d'un certain nombre d'éléments rencontrés plus spécialement dans les espèces minérales non conductrices ou dans les sels fondus employés à les dissoudre.

Digitized by Google

II. — Spectres des corps simples.

Carbone. — J'ai pu obtenir le spectre élémentaire de lignes du carbone (1) dans les sels alcalins fondus. Il y présente les mêmes lignes que dans le graphite pur de Sibérie (2). Il paraît nécessiter, pour se manifester, une distance explosive correspondant à une différence de potentiel notablement supérieure à celle exigée par les métalloïdes dont j'avais jusqu'ici entrepris l'étude. Pour maintenir cependant une étincelle très courte sur le sel fondu, afin d'éviter autant que possible l'apparition du spectre de l'air, j'ai été amené à établir une coupure dans le circuit venant de la bobine, en y intercalant un excitateur à écartement modifiable, pour régler la différence de potentiel de décharge du condensateur, de capacité variable par le nombre de ses bouteilles de Leyde. Le sel fondu était maintenu en fusion pâteuse en dehors et de préférence au-dessus de la flamme basse et non éclairante d'un brûleur de Bunsen. De cette manière, le spectre de lignes ci-dessous du carbone apparaît d'une manière très nette :

CARBONE.

	λ.			λ.	
Cα.	657.85	Très bien marquée, souvent même assez forte.		537.99	Assez bien marquée.
Groupe I	566.22	Facilement visible.	Gr. II	515.16	Très bien marquée.
	564.86	Facilement visible.		514.46	Très bien marquée.
	564.10	Assez facilement visible.		513.29	Très bien marquée.
			Cβ	426.70	Forte ou très forte, large et diffuse.

(1) *Comptes Rendus*, 19 et 26 juillet 1897.

(2) A l'exception de 609.7 dont je n'ai pu établir l'origine dans le graphite et dans le carbone libre.

Digitized by Google

Avec les dispositifs ordinaires, sans coupures dans le circuit, et l'étincelle se produisant au milieu de la flamme, Cα et Cβ sont seuls à apparaître et même ne sont pas toujours visibles. Cβ est la plus caractéristique du carbone et la seule pouvant offrir un caractère analytique. L'accroissement de la condensation l'élargit beaucoup, jusqu'à lui donner l'aspect d'une bande nébuleuse. Cα était présenté jusqu'ici comme un doublet ; j'ai montré (1), en travaillant sur des corps purs et avec la forte dispersion d'un spectroscope Thollon, que la composante la moins réfrangible (658.42) n'appartenait pas au carbone.

Silicium. — Le spectre obtenu dans les silicates fondus a été comparé (2) à celui du silicium pur dans l'hydrogène, avec la même condensation.

Voici les raies que j'ai également obtenues dans les deux cas :

SILICIUM.

Siα	636.97	Forte.	Siδ	457.57	Très faible.
	634.22	Très forte.		456.89	Assez bien visible.
Siβ	597.89	Assez forte.		455.37	Bien visible.
	596.03	Bien visible.	Siε	413.13	Fortes, mais très diffuses et presque confondues en une seule bande 413.0.
Siγ	506.00	Très forte.		412.92	
	504.55	Très forte.			

Les deux groupes les plus vifs et les plus caractéristiques sont Siα dans le rouge et Siγ dans le vert. En recherchant ce dernier, il y a lieu de se méfier de l'apparition possible de 506.04 du platine et parfois de 504.57 de l'air. C'est pour

(1) *Loc. cit.*

(2) *Comptes Rendus*, 25 janvier 1897. Y corriger la faute d'impression de λSiα et, au lieu de 696.97, lire 636.97.

Digitized by Google

l'élimination complète de cette dernière que j'ai étudié, dans l'hydrogène, l'étincelle donnée par le silicium. Les deux raies Siγ sont d'ailleurs beaucoup plus intenses et plus larges dans les silicates que leurs correspondantes de l'air et du platine, lorsqu'elles se manifestent dans les mêmes conditions. La double bande Siε offre aussi une réaction sensible du silicium, surtout par la photographie (1).

Métaux alcalins. — *Lithium*. — Ayant, dans la plupart des essais, eu recours au carbonate de lithium pour l'attaque des minéraux, et ses six raies, bien reconnaissables, loin de gêner l'observation, pouvant servir de repères pour s'assurer que le micromètre est bien à sa place et pour calculer les longueurs d'onde des raies observées, j'en recommande l'examen préalable attentif aux observateurs. Voici les longueurs d'onde les plus précises, obtenues par Kayser et Runge avec le spectre d'arc; dans l'étincelle fortement condensée, les raies sont les mêmes, mais leur aspect est différent. C'est celui que j'indique ici.

LITHIUM.

670.82	Forte, vive.	460.237	Forte, large, diffuse.
610.377	Très forte.	427.344	Bien visible.
497.211	Forte.	413.244	Bande diffuse, bien visible.

Pour de faibles traces de lithium, dans un minéral étudié avec le carbonate de sodium, les raies (670.8) et (610.3) apparaissent seules; la plus réfrangible des deux est la dernière à disparaître. On les obtient même en faisant jaillir à froid l'étincelle condensée à la surface d'un morceau de triphane ou de lépidolite.

(1) v. Demarçay, *Spectres électriques. Fluorure de silicium, en solution.*

Digitized by Google

Sodium. — La double raie jaune bien connue (D de Frauenhofer) sera presque toujours présente, amenée soit par le sel fondu, soit la plupart du temps par le minéral examiné. Elle servira de repère, ainsi d'ailleurs que les autres doublets du sodium, dont voici les longueurs d'onde d'après Kayser et Runge dans l'arc, mais avec leur aspect dans l'étincelle condensée.

SODIUM.

Naδ	616.115	Forte, vive.
	615.462	Forte, vive.
Naα	589.616	Intense.
	589.019	Intense.
Naβ	568.826	Forte, vive.
	568.290	Forte, vive.
Naβ′	567.592	Faible.
	567.040	Faible.
Naε	515.372	Assez forte.
	514.919	Assez forte.
Naγ	498.353	Bien visibles, mais très diffuses et à peu près confondues.
	497.930	

Les doublets plus réfrangibles qui achèvent le spectre, visible dans Kayser et Runge, se réduisent ici, dans les conditions de l'expérience, à une seule ligne nébuleuse, dont les mesures ci-dessous sont celles que j'ai directement obtenues :

475.2	Faible, diffuse.	454.5	Faible, diffuse.
467.0	Assez bien visible, diffuse.	449.9	Assez bien visible, diffuse.

Pratiquement, dans les minéraux, le spectre du sodium se réduit aux trois doublets vifs et caractéristiques Naδ, Naα, Naβ, chacun d'eux étant vu comme une seule raie dans les appareils monoprismatiques, avec une fente moyenne.

Potassium. — J'ai rarement fait usage du carbonate de potassium pour l'attaque des minéraux. Je n'en conseillerai pas l'emploi, à cause de la richesse en lignes de son spectre

Digitized by Google

d'étincelle condensée, surtout dans le bleu et le violet. On en trouvera l'étude au *Bulletin de la Société chimique* (1), où je donne, en même temps que les longueurs d'onde et l'aspect des raies, la discussion de leur origine. Je me bornerai donc ici à faire observer le peu de sensibilité de ce corps à l'analyse spectrale, dans l'étincelle condensée, surtout quand on le compare aux autres métaux alcalins.

Les raies les plus caractéristiques d'une notable quantité de potassium dans un sel ou dans un minéral sont :

Kα	583.2	Forte.	Kζ	482.9	Assez forte.
	581.2	Assez bien visible.		426.4	Assez forte.
	580.2	Forte.		418.6	Assez forte, large.
	578.3	Très bien marquée.	Kε	404.6	Forte, très large, diffuse.

La dernière Kε est la plus sensible et pourrait donner une bonne réaction photographique ; mais le groupe vert Kα est le plus brillant à l'œil et le plus caractéristique. Les raies rouges classiques du spectre de flamme n'auraient ici aucune sensibilité et sont difficiles à voir dans l'étincelle.

Rubidium. — Ce métal est facilement reconnaissable, même à l'état de traces non dosables, par ses deux raies violettes (421.6 et 420.2). Je ne l'ai rencontré que dans le triphane. Étudié dans le chlorure de rubidium fondu, il m'a donné les raies mesurées par Kayser et Runge dans le spectre d'arc.

Cœsium. — Fondus avec le carbonate de sodium, ou seuls, les composés qui contiennent du cœsium donnent dans la flamme les deux raies bleues caractéristiques de ce métal, et notablement moins réfrangibles que les lignes correspondantes du rubidium. Avec l'étincelle condensée sur le mélange fondu, le cœsium dans les minéraux se ma-

(1) 3e série, t. XVII, p. 779 ; 1897.

Digitized by Google

nifeste principalement par les raies suivantes :

CŒSIUM.

697.4	Bien marquée.	566.4	Bien visible.
672.4	Assez forte.	546.6	Assez forte.
646.5	Assez bien visible (1).	Cœβ 459.3	Forte.
621.3	Assez forte.	Cœα 455.5	Très forte.

Métaux alcalino-terreux. — Le calcium, le strontium et le baryum sont tout particulièrement sensibles par cette méthode ; la dissociation de leurs composés est assez facile ; aussi leurs spectres d'arc, étudiés par Kayser et Runge, sont-ils déjà des spectres de dissociation donnant les mêmes lignes que l'étincelle condensée, ainsi que je m'en suis assuré. L'intensité relative seule de quelques raies diffère dans une certaine limite. On n'aura donc qu'à se reporter soit au mémoire original de MM. Kayser et Runge (2), soit à l'appendice D de l'*Index of Spectra* de Watts (3). Je me bornerai à donner ici les raies caractéristiques et de notable intensité de chaque métal. Ce seront d'ailleurs à peu près les seules auxquelles on aura affaire, et, en consultant les tableaux de longueurs d'onde donnés dans Watts, on pourra considérer comme peu visibles ou négligeables les raies d'intensité inférieure à 6 (max. = 10).

CALCIUM.

Gr. I	649.4	Forte.		585.8	Assez forte.
	646.3	Forte.	Gr. III	560.2	Bien marquée.
	643.9	Très forte.		559.9	Assez forte.
Gr. II	617.0	Bien marquée.		559.5	Forte.
	616.2	Très forte.		558.9	Forte.
	612.2	Très forte.		558.2	Assez bien marquée.
	610.3	Bien marquée.		535.0	Forte.

(1) Vue jusqu'ici seulement dans la flamme par Lecoq de Boisbaudran (spectres lumineux).

(2) *Ueber die Spectren der Elemente.* Berlin. Akad. d. Wiss. 1891.

(3) Manchester ; 1893.

Digitized by Google

Gr. IV	527.0 Forte.		431.9 Bien marquée.
	526.6 Assez forte.		430.8 Assez bien marquée.
	526.2 Bien marquée.		430.3 Très bien marquée.
	518.9 Très bien marquée.		429.0 Bien marquée.
	504.2 Bien marquée.		428.3 Bien marquée.
	487.8 Bien marquée.	[g]	422.7 Intense.
Gr. V	445.5 Forte.	[H]	396.9 Forte.
	443.5 Forte.	[K]	393.4 Forte.
	442.6 Forte.		

Les intensités marquées ci-dessus sont celles des lignes données par la calcite ou le gypse. Dans les minéraux riches en calcium, mais où ce métal n'est pas absolument prédominant, l'anorthite par exemple, on aurait bien toutes ces lignes, mais avec une moindre intensité pour chacune d'elles, sauf peut-être pour les trois dernières.

Les groupes I et II du rouge, ainsi que les deux groupes III et IV du vert, qui, beaucoup plus serrés, forment chacun une bande cannelée, difficilement résoluble avec un seul prisme, sont bien visibles pour une quantité de calcium voisine du centième, et même inférieure, comme dans le sel marin. Le groupe bleu n° V (445.5) (443.5) (442.6) persiste après la disparition des groupes rouges et verts, indiquant encore une plus faible teneur, quelques millièmes. Enfin la ligne capitale (422.7), qui coïncide avec *g* de Frauenhofer est d'une sensibilité extrême ; elle est présente dans la plupart des silicates, et tout à fait révélatrice de la moindre trace de calcium. Les deux raies (396.9) (393.4), correspondant à H et K de Frauenhofer, sont à la limite extrême de visibilité du spectre et hors du champ de l'appareil à deux prismes. Malgré leur délicatesse de réaction, leur emploi devra surtout être réservé aux méthodes spectrographiques.

Digitized by Google

STRONTIUM.

640.9	Bien marquée.	487.6	Bien marquée.
533.5	Bien marquée.	487.3	Bien marquée.
552.2	Bien marquée.	483.2	Très bien marquée.
550.5	Bien marquée.	481.2	Très bien marquée.
548.1	Très bien marquée.	478.4	Bien marquée.
525.7	Assez forte.	474.2	Bien marquée.
523.9	Bien marquée.	472.2	Bien marquée.
523.0	Bien visible.	460.8	Forte.
522.6	Bien visibles, à peu près	430.6	Forte.
522.2	confondues.	421.6	Très forte.
496.2	Forte.	407.8	Assez forte.

Les intensités des lignes du tableau précédent ont été déterminées avec la célestine dans le carbonate de lithium fondu. On a encore observé quelques autres raies assez bien visibles ou faibles, qui se trouvent, comme celles-ci, dans le spectre d'arc du strontium de Kayser et Runge ; mais les intensités relatives des raies sont très modifiées dans l'étincelle condensée. On remarquera ici la présence d'une seule raie rouge (640.9) et de trois raies vertes (548.1) (525.7) (496.2) d'intensité notable. La partie réellement développée dans les conditions de l'expérience s'étend du bleu à la fin du violet; les quatre dernières raies ont surtout un caractère analytique commode et sensible (421.6) et (460.8) notamment. On les voit sans difficulté dans les calcaires ou les dolomies légèrement strontianifères.

Les raies (481.2) et (472.2) coïncident pratiquement avec deux des plus fortes raies du zinc Znα (481.1) et Znγ (472.2); mais elles ont apparu, avec une intensité constante, sans traces de Znβ (636.4), ni Znδ (468.0), qui accompagnent toujours celles du zinc.

Digitized by Google

BARYUM.

652.8	Bien visible.	553.6	Intense.
649.7	Très forte.	551.9	Bien marquée.
614.2	Intense.	542.5	Assez bien marquée.
611.1	Bien marquée.	493.4	Intense.
606.3	Bien marquée.	490.0	Bien marquée.
602.0	Bien marquée.	455.4	Intense.
597.2	Assez bien marquée.	452.5	Assez bien marquée.
585.4	Forte.	416.6	Assez bien marquée.
582.7	Bien marquée.	413.1	Bien marquée.
577.8	Bien marquée.		

On trouvera les raies de moindre importance dans le spectre d'arc du baryum donné par Kayser et Runge. Les intensités de celles qui précèdent ont été notées avec l'hydrate de baryum, le chlorure, ou la barytine, par le carbonate de lithium ; j'ai observé aussi les raies secondaires avec ces substances. Les lignes caractéristiques de très faibles quantités de baryum dans les minéraux sont (649.7) (614.2) dans le rouge et l'orangé, (577.8) (553.6) (493.4) dans le vert, (455.4) dans le bleu. Les deux dernières raies du tableau, très nettes dans les sels fondus, n'ont pas été reconnues avec certitude dans les minéraux.

Outre le spectre de lignes ci-dessus, les composés du baryum donnent aussi, même dans l'étincelle condensée, les trois bandes vertes de la baryte. Elles paraissent un peu moins réfrangibles que celles vues par M. Lecoq de Boisbaudran dans $BaCl^2$ en solution.

Magnésium. — Bien que l'ayant cité déjà dans « l'analyse spectrale directe », je rappellerai que le magnésium est caractérisé avec une grande sensibilité par son groupe capital constitué par un triplet vert brillant Mgα (518.4) (517.3) (516.8).

Digitized by Google

Glucinium. — Ce métal est décelé surtout par la raie bleue (457.3), facile à voir dans l'attaque de l'émeraude béryl par le carbonate de lithium.

Manganèse. — Le manganèse est facilement reconnaissable dans les minéraux non conducteurs, sous l'action des sels fondus, tandis que, par la méthode directe, même dans les minéraux à éclat métallique, tels que la haussmannite, je n'avais pu obtenir son spectre, dont voici les principales lignes :

MANGANÈSE.

Mnβ	602.2	Bien marquée.	Mnα	482.4	Forte.
	601.7	Bien marquée.		478.4	Forte.
	601.4	Bien marquée.		476.6	Forte.
				476.2	Forte.
				475.4	Forte.
				441.5	Bien marquée.
				423.5	Assez bien marquée

Les deux dernières raies du triplet orangé Mnβ sont à peu près confondues. Le groupe capital Mnα a deux raies (476.6) et (476.2) un peu moins fortes que les autres ; elles sont presque confondues avec un seul prisme. Je n'ai pas fait figurer ici un groupe de raies assez bien visibles et formant une série dont les extrêmes sont (446.5) et (445.2). Enfin la raie (423.5) est donnée par Thalèn comme la composante la moins réfrangible d'un doublet dont la seconde raie serait (422.7), coïncidant, par conséquent, avec la ligne capitale extra-sensible du calcium. Les solutions de chlorure de manganèse pur, étudiées avec des étincelles différentes par M. Lecoq de Boisbaudran, puis par M. Demarçay ont présenté la raie (423.5) sans aucune trace de (422.7). Je me propose de reprendre, dans un prochain travail, l'étude

Digitized by Google

du spectre du manganèse dans la pyrolusite, la haussmannite, etc., au moyen des sels fondus.

Chrome. — Le tableau suivant des lignes du chrome, observées dans les minéraux au moyen des sels fondus, permettra de rectifier et de compléter celui que j'avais présenté dans « l'analyse spectrale directe (1) » et qui résultait d'un examen sommaire fait avec un seul prisme :

CHROME.

	541.0	Forte.		483.0	Bien marquée.
	534.9	Bien marquée.		435.2	Assez bien visible.
	534.6	Bien marquée.		434.5	Assez bien visible.
	529.8	Assez bien marquée		433.9	Assez bien visible.
	529.7		Crβ	429.0	Forte.
Crα	520.9	Très forte.		427.5	Forte.
	520.6	Très forte.		425.5	Forte.
	520.5				

Les raies ayant un caractère analytique sont, comme on le verra plus loin au sidérochrome, le triplet vert Crα, qui se présente comme un doublet avec deux prismes, et comme une seule forte ligne avec un prisme, et le triplet bleu Crβ, d'aspect facile à reconnaître.

Vanadium. — Le vanadate de sodium fondu donne un spectre très riche en lignes du vanadium, parmi lesquelles on retrouve non seulement celles que Thalèn avait obtenues avec le vanadium libre, mais aussi la plupart de celles que M. Demarçay a photographiées et mesurées à partir du bleu dans le fluorure de vanadium en solution. J'ai eu, en outre, dans le rouge, l'orangé et le vert, un assez grand nombre de raies nouvelles non données par Thalèn. Voici les princi-

(1) *Bull. Soc. Min.*, t. XVIII, p. 364 ; 1895.

Digitized by Google

pales lignes données, soit par une très faible quantité d'acide vanadique dans un sel fondu, soit par un minéral contenant peu de vanadium.

VANADIUM.

609.0	Forte.	Vaα	440.8 Très forte.
488.2	Forte.		440.0 Forte.
487.5	Forte.		439.5 Forte.
486.5	Forte.		439.0 Forte.
446.0	Forte.		438.5 Forte.
			438.0 Forte.

La raie la plus caractéristique et la dernière à disparaître semble être (440.8); elle forme avec les raies suivantes jusqu'à (438.0) un groupe de lignes indigo, facile à reconnaître, que nous désignerons par Vaα.

Zirconium. — Le spectre de ce métal est facile à obtenir et donne des raies brillantes par l'attaque des silicates zirconifères au moyen des carbonates de lithium ou de sodium. Plusieurs raies du zirconium, non signalées par Thalèn, mais qui figurent dans le spectre du fluorure de zirconium en solution de M. Demarçay, ont été identifiées ici, mais avec des intensités relatives un peu différentes ; je les fais suivre de la lettre (D).

ZIRCONIUM.

	614.2 Diffuse, bien visible.		421.4 Assez forte [D].
	538.5 Bien marquée.		420.0 Assez forte [D].
	535.0 Bien marquée.		418.0 Bien visible [D].
	519.2 Bien marquée.		416.7 Bien visible [D].
Zrα	481.6 Forte.		415.7 Bien visible.
	477.2 Forte.		415.0 Bien visible.
	474.0 Très forte.		
	471.1 Forte.		
	468.9 Forte.		

Digitized by Google

dans les sels fondus (1) ou dans les minéraux (2). Je ferai observer seulement que leur sensibilité très grande dans les composés, tels que les sulfures, séléniures, tellurures, chlorures, bromures, iodures, où ils ne sont pas combinés à l'oxygène, devient, au contraire, assez faible dans les oxysels correspondants dont la dissociation exige une forte condensation (4 à 6 jarres) pour faire apparaître les lignes des métalloïdes. L'emploi du carbonate de sodium m'a, dans ce cas, donné de meilleurs résultats que celui du carbonate de lithium.

On va voir d'ailleurs, à propos des espèces minérales dont l'examen spectral sera successivement donné comme exemple, les observations suggérées par la manière d'être des différents corps simples dans leurs associations diverses et dans certains cas particuliers.

III. — Spectres des minéraux.

Silicates. — *Feldspaths*. — *Orthose :* $K^2O.Al^2O^3.6SiO^2$. — Var. Adulaire, du Saint-Gothard et des Grisons (Lukmanier ?).

Fondue avec le carbonate de sodium, la poudre d'adulaire donne, au bout de quelques instants, un très bon spectre du silicium complet, accompagné faiblement du doublet rouge (624.5) (623.5) de l'aluminium, à peu près confondu en une seule bande un peu diffuse. On a aussi avec une grande

(1) Métaux alcalins, *Bulletin de la Société chimique*, 3e série, t. XVII; 1897.
Chlore, brome, iode, — 3e série, t. XVII; 1897.
Soufre, phosphore, — 3e série, t. XIX; 1898.
Carbone, silicium, *Comptes Rendus* (janvier ; juillet 1897).

(2) Sélénium, tellure, antimoine, arsenic, or, argent, mercure, cuivre, plomb, zinc, étain, germanium, bismuth, fer, nickel, cobalt, titane, molybdène, magnésium. Voir Analyse spectrale directe : *Bull. Soc. franç. de Min.*, t. XVIII ; 1895 ; avoir soin de faire aux λ de ce mémoire la correction indiquée ici précédemment, page 101.

Digitized by Google

Le groupe de fortes raies bleues que j'ai désigné par Zrα est sensible comme réaction et très facile à reconnaître; la raie (474.0) y semble un peu plus forte que les autres et paraît être la ligne capitale.

Aluminium. — La recherche de ce métal par l'analyse spectrale est déconseillée dans tous les ouvrages spéciaux. Elle a été jusqu'ici jugée sinon impossible, du moins difficile et sans avantages. Je me suis assuré, au contraire, qu'attaqués par le carbonate de lithium fondu les minéraux contenant même une faible quantité d'alumine laissaient apparaître au spectroscope, avec une grande sensibilité, les deux lignes les moins réfrangibles de l'aluminium, formant le doublet rouge (624.5) (623.5). Ce sont les seules raies de ce métal que j'aie pu faire apparaître au moyen de l'étincelle, quelque fût la condensation employée. Elles sont un peu diffuses et à peu près confondues en une seule bande. Une goutte de solution d'aluminate de sodium, déposée sur une perle de carbonate de lithium, fait apparaître cette bande avec une intensité presque égale à celle du doublet rouge du sodium (616.1) (615.5), visible dans son voisinage. Avec le carbonate de sodium tout au contraire, les silicates donnent très difficilement le doublet rouge de l'aluminium et sans aucune sensibilité. Il en est de même du carbonate de potassium. On devra donc rechercher l'aluminium dans les minéraux au moyen du carbonate de lithium fondu qui en semble le réactif indiqué, par cette méthode.

Je ne parlerai pas des spectres de lignes des métalloïdes déjà donnés, avec ceux des corps simples qui ne figurent pas ici, dans de précédents travaux où j'en avais fait l'étude

Digitized by Google

netteté les principales raies du baryum. Cette réaction, donnée avec tous les échantillons essayés, est à rapprocher des observations d'Alexandre Mitscherlisch (1), qui a trouvé de la baryte dans un certain nombre d'orthoses, et notamment 0,45 0/0 dans l'adulaire du Saint-Gothard. Le potassium n'a pas été visible, en présence de l'excès de sodium du dissolvant.

Par le carbonate de lithium, le spectre est meilleur, au point de vue de l'ensemble des éléments décelés. Les raies dues au minéral apparaissent presque immédiatement, c'est-à-dire toutes celles du silicium, le doublet rouge d'aluminium, les principales du baryum bien marquées, enfin quelques lignes du calcium, surtout dans la partie la plus réfrangible du spectre, notamment (422.6); l'absence des raies rouges de ce corps en indique une faible teneur. On a enfin les doublets rouge et vert du sodium, tandis que le potassium assez abondant (environ 14 0/0), mais très peu sensible par ce procédé, n'est guère visible que par sa raie violette (404.6), le groupe vert $K\alpha$ (583.2 à 578.3) étant peu apparent. Quelques échantillons m'ont, de plus, donné faiblement le triplet vert du magnésium.

Analyse de l'adulaire du Saint-Gothard, par Abich :

SiO^2	Al^2O^3	CaO	K^2O	Na^2O	Fe^2O^3
65.69	17.97	1.34	13.99	1.01	tr.

Var. *Cassinite*. — Blue-Hill, Penn., U.-S.: Collection du Muséum (2).

Cette variété barytique d'orthose, donne avec le carbonate de lithium, un spectre d'ensemble très voisin de celui de

(1) *Journ. f. prakt. Chem.*, t. LXXXI; 1860.

(2) Cet échantillon, ainsi que les suivants, avait été aimablement mis à ma disposition par M. A. Lacroix que je suis heureux de remercier ici.

Digitized by Google

l'adulaire, mais les raies du baryum y sont beaucoup plus fortes et plus nombreuses. Les doublets rouge et vert du sodium sont d'intensité supérieure à ceux de l'adulaire.

Par le carbonate de potassium, les résultats sont notablement moins bons ; seuls, le silicium, le baryum et le doublet d'aluminium viennent bien et facilement. La désagrégation du minéral et l'apparition des raies de ses composants sont plus longues qu'avec le carbonate de lithium.

Analyse de la cassinite de Blue-Hill, par Sperry :

SiO^2	Al^2O^3	BaO	CaO	K^2O	Na^2O	Fe^2O^3	Perte au feu
62 95	19.82	3.95	0.25	8.57	4.01	0.17	0.11

Essais directs. — L'étincelle fortement condensée et très courte jaillissant entre deux pointes métalliques (extrémités de pinces à bouts de platine) et disposée de manière à lécher la surface d'un morceau d'adulaire, donne, au milieu du spectre du platine et de l'air, les principales raies du silicium bien visibles, ainsi que celles du baryum et le doublet rouge de l'aluminium. Quelques lignes du potassium apparaissent fugitives et peu intenses. L'addition d'une goutte d'acide chlorhydrique, au point de jaillissement de l'étincelle, ne facilite pas l'apparition des raies.

Albite. Ab = $Na^2O.Al^2O^3.6SiO^2$. — De Modane : Collection du Muséum.

Pulvérisé et fondu avec trois fois son poids de carbonate de lithium sur les spatules de platine, ce minéral donne les mêmes résultats qu'après fusion prolongée du mélange dans la cuiller de platine ; cette opération préliminaire n'est donc pas nécessaire. On peut même saupoudrer du minéral pulvérisé la spatule recouverte de Li^2CO^3 fondu.

On a ainsi les spectres du silicium et du sodium complets et très vifs, le doublet de l'aluminium, et faiblement les

Digitized by Google

principales lignes du calcium et du magnésium. Toutes ces raies apparaissent encore avec une condensation réduite à deux jarres ; le silicium n'est presque plus discernable avec une seule jarre (12 dq. de surface condensatrice) et tout à fait invisible avec une bouteille de Leyde de surface moitié moindre.

Analyse de l'albite de Modane, par M. Fouqué :

SiO^2	Al^2O^3	Na^2O	CaO	K^2O
68.2	19.0	13.5	tr.	tr.

Albite péristérite. — Villeneuve, Canada : Collection du Muséum.

La péristérite est plus riche en calcium que la variété précédente, puisque sa teneur va jusqu'à 2,6 0/0. Aussi le spectre du calcium est-il bien marqué, surtout dans le vert et le violet.

Analyse de la péristérite du Canada, par Hunt :

SiO^2	Al^2O^3	CaO	Na^2O	K^2O	Fe^2O^3	MgO	Perte au feu
66.80	21.80	2.52	7.00	0.58	0.30	0.20	0.60.

Oligoclase [Ab_3An_1]. — Bakersville, N.-C. : Collection du Muséum.

Fondue avec le carbonate de lithium, l'oligoclase peut être facilement distinguée de l'anorthite, en tenant compte des intensités relatives des spectres composants. Dans le rouge, les raies Naδ et Siα sont très vives, ainsi que le doublet Al, beaucoup plus que dans l'anorthite ; en revanche, les lignes rouges du calcium sont faibles. Dans le vert, Naβ, Naβ' sont bien nets et vifs, et les groupes cannelés III et IV du calcium bien visibles. Trois raies capitales du baryum, vertes (553.6) et bleues (493.4), (455.4) sont assez

Digitized by Google

faibles et indiquent des traces de ce corps ; les raies correspondantes du rouge n'ont pas été vues. Les raies bleues du calcium sont bien visibles. En résumé, sont prédominants : silicium, sodium, aluminium ; peu intense : calcium ; dénoté à l'état de faible quantité : baryum.

Analyse de l'oligoclase de Bakersville, par Sperry :

SiO^2	Al^2O^3	CaO	Na^2O	K^2O	Fe^2O^3	Perte au feu
62.60	23.52	4.47	8.62	0.56	0.08	0.10

[Ab_6An_1] d'Ytterby, Suède, par le carbonate de sodium, donne, au bout de quelques instants, les spectres du silicium et du calcium très bien visibles, mais pas de raies du baryum ; en revanche, une seule ligne du strontium (421.6), la plus sensible de son spectre, qui indiquerait des traces de ce corps.

Analyse de l'oligoclase d'Ytterby, par Ludwig :

SiO^2	Al^2O^3	CaO	Na^2O	K^2O
64.81	22.99	3.15	8.89	0.82.

Labrador [Ab_1An_1]. — Côtes du Labrador : Collection du Muséum.

Par le carbonate de lithium on a un bon spectre de plagioclase ordinaire, comme avec l'oligoclase. Le calcium est seulement plus vif, et les raies du baryum n'ont pas été vues. On a donc : silicium, calcium, sodium, aluminium également nets.

Analyse du Labrador de Saint-Paul, côte du Labrador, par Penfield:

SiO^2	Al^2O^3	CaO	Na^2O	K^2O	Fe^2O^3	Perte au feu
54.75	27.76	10.60	5.13	0.53	0.69	0.56

Anorthite, An = $CaO.Al^2O^3.2\ SiO^2$. — Des blocs de la

Digitized by Google

Somma. — Le spectre du silicium est un peu moins brillant dans l'anorthite que dans les autres plagioclases ; le doublet rouge de l'aluminium et ceux du sodium dans le rouge et le vert sont toujours aussi bien visibles ; mais la différence, frappante à première vue, se trouve dans la vivacité du spectre très complet du calcium, qui caractérise ce feldspath, le plus calcaire de tous. On a, de plus, les principales raies du magnésium, très bien marquées, surtout le triplet Mgα.

Analyse de l'anorthite de la Somma, par Abich :

SiO^2	Al^2O^3	CaO	Na^2O	K^2O	Fe^2O^3	MgO
43.96	35.30	18.98	0.47	0.40	0.63	0.45

Anorthite, de la Nouvelle-Calédonie (Collection du Muséum) donne absolument le même spectre que le minéral de la Somma; le magnésium est peut-être un peu plus faible, voilà tout.

Pétalite, $Li^2O.Al^2O^3.8SiO^2$. — D'Utö, Suède.

Fondu avec le carbonate de sodium, le pétalite donne un spectre brillant du lithium, du silicium, et le doublet rouge de l'aluminium faiblement. On remarque, en outre, les lignes bleues et violettes du calcium indiquant une petite proportion de cet élément et les deux raies violettes du rubidium (421.6) (420.2), faibles, mais incontestables.

Analyse de la pétalite d'Utö, par Sonden :

SiO^2	Al^2O^3	Li^2O	Na^2O
77.97	17.08	4.22	0.73

Pollux, $H^2O.(Cs,Na)^2O.Al^2O^3.5SiO^2$. De Hebron, Me., U.-S.

Ce minéral, introduit dans la flamme et fondu dans celle-ci avec le carbonate de sodium, donne aussitôt, et sans avoir à employer l'étincelle, les deux raies bleues caractéristiques du cœsium (459.3), (455.5), très bien visibles.

Digitized by Google

Sous l'action de l'étincelle, ces raies deviennent très fortes et sont accompagnées des autres lignes principales du cœsium : dans le rouge et l'orangé (697.4) (672.4) (646.4) (621.3) ; dans le vert (566.4) (546.6). Apparaissent aussi les raies rouge et orangée du lithium, puis les doublets du silicium très vifs, celui de l'aluminium faible (1), et quelques raies du calcium, dans le bleu et l'indigo, notamment (422.7).

Avec le carbonate de lithium, le spectre du cœsium est moins visible, à cause de Li (670.8) et Li (460.2) dont le voisinage éclipse Cœ (672.4) et Cœ (459.3), mais Cœα (455.5) est toujours très forte, et les autres raies bien visibles. Les spectres des autres corps sont, au contraire, plus brillants, notamment le doublet rouge de l'aluminium, redevenu vif, et les raies du calcium plus visibles.

Analyse du Pollux, d'Hébron, par Wells :

SiO^2	Al^2O^3	CaO	Cs^2O	K^2O	Na^2O	Li^2O	H^2O
43.48	16.41	0.21	36.77	0.47	1.72	0.03	1.53

Triphane, $Li^2O.Al^2O^3.4SiO^2$. — Goshen, Mass., U.-S.

A été essayé par l'étincelle directe léchant un morceau de clivage. On a eu, au milieu des raies du platine et de l'air, celle du lithium avec une grande intensité, surtout dans le rouge, et très nettement les spectres de lignes du silicium et du sodium ; une condensation de quatre jarres avait été employée. Avec le carbonate de sodium fondu on a eu les résultats habituels, un brillant spectre du lithium prédominant, et, comme toujours avec ce réactif, le doublet rouge d'aluminium très peu visible, contrairement à ce qu'on obtient avec le sel de lithium comme fondant.

Les éléments accessoires n'ont pas été recherchés.

(1) Voir ci-dessus, p. 112, l'observation sur l'emploi de Na^2CO^3 pour la recherche de l'aluminium.

Digitized by Google

Analyse du Triphane de Goshen, par Julien :

SiO^2	Al^2O^3	FeO	CaO	MgO	Li^2O	K^2O	Na^2O	Perte au feu
63.27	23.73	1.17	0.11	2.02	6 89	1.45	0.99	0.36.

Rhodonite, $MnO.SiO^2$. — Vallée du Louron, Hautes-Pyrénées.

Le minéral traité par le carbonate de lithium fondu donne, outre les doublets habituels du silicium, un très bon spectre du manganèse (1), caractérisé dans l'orangé par le triplet Mnβ et dans le bleu par le groupe capital de cinq raies facilement reconnaissables Mnα, ainsi que par les autres lignes de ce métal. Parmi celles-ci je mentionnerai le fort doublet violet (423.5) (422.7) dont la composante la plus réfrangible paraît être tout simplement la principale raie du calcium, représentée aussi dans le spectre de la rhodonite par quelques autres lignes moins fortes. On a constaté, en outre, la présence du doublet rouge de l'aluminium.

Composition chimique, correspondant à la formule :

SiO^2 45.9 MnO. 54.1.

Béryl, $3GlO.Al^2O^3.6SiO^2$. — De Limoges.

Un fragment de prisme hexagonal basé, opaque et laiteux est pulvérisé et fondu avec le carbonate de lithium. Le spectre obtenu donne les raies habituelles du silicium, de l'aluminium, du sodium, et une seule ligne, très bien marquée, du glucinium, dans le bleu (457.3) ; on a aussi quelques raies du calcium, notamment (422.7).

Analyse du béryl de Chanteloube, près Limoges, par Klatzo :

SiO^2	Al^2O^3	FeO	GlO
67.78	17.58	0.27	13.72

(1) Voir ci-dessus, p. 109, le spectre du manganèse.

Digitized by Google

Grenat Spessartine, $3MnO.Al^2O^3.3SiO^2$. — De Saint-Marcel, Piémont.

Avec le carbonate de sodium on a facilement le groupe de cinq fortes raies bleues caractéristiques du manganèse Mnα, et d'ailleurs le même spectre de ce corps qu'avec la rhodonite. Le silicium vient bien, et le calcium se manifeste non seulement par ses raies bleues, mais aussi par ses groupes du vert et ses lignes rouges. L'aluminium est, comme toujours, à peu près invisible avec le sel de sodium, et son doublet rouge est, au contraire, très brillant avec le carbonate de lithium dont les effets sont, du reste, meilleurs aussi pour le manganèse.

Analyse de la spessartine de Saint-Marcel, par Pisani :

SiO^2	Al^2O^3	Fe^2O^3	MnO	CaO
38.50	18.40	2.70	34.25	5.87

Zircon, $ZrO.SiO^2$. — De Miask, Oural.

Avec le carbonate de lithium, un fragment de cristal de zircon bien pulvérisé a donné, outre les raies habituelles du silicium et de l'aluminium, un bon spectre de lignes du zirconium, parmi lesquelles trois ou quatre bien marquées dans le vert, surtout avec une forte condensation; et le groupe capital du zirconium Zrα formé de cinq raies bleues, étroites, très vives, presque équidistantes, situées dans la région des raies du zinc et bien caractéristiques, même avec une faible dispersion. Elles sont surtout visibles tant que la masse est en fusion; mais, à la longue, Li^2CO^3 se volatilise sous l'action réunie de la flamme et de l'étincelle ; il reste alors une masse terreuse incandescente ne donnant plus qu'un spectre continu. Plusieurs raies du zirconium non données par Thalèn ont été aperçues (1), ainsi que les raies

(1) Voir plus haut, à zirconium, p. 111.

Digitized by Google

violettes du calcium indiquant une très faible teneur en chaux.

Avec le carbonate de sodium, le spectre du zirconium se manifeste presque aussi bien.

Composition chimique correspondant à la formule :

SiO^2. . . .	32,8
ZrO	67,2

Les analyses n'indiquent pas la présence de l'aluminium.

Axinite, $H^2O.6(Ca,Fe,Mn)O,2Al^2O^3,B^2O^3,8SiO^2$. — La Balme-d'Auris, Oisans.

Un fragment de cristal violacé transparent, pulvérisé et fondu avec le carbonate de lithium donne un spectre brillant où prédominent : celui du calcium complet, les doublets du silicium bien marqués, et celui de l'aluminium assez fort. On a, en outre, le groupe bleu du manganèse Mnα, très vif si l'on a mis assez de matière, ou peu visible si l'on s'est borné à saupoudrer légèrement d'axinite pulvérisée le carbonate fondu. La présence du magnésium est attestée par son triplet vert très vif Mgα. Même résultat avec l'axinite d'Eredlitz (Hautes-Pyrénées).

Analyse de l'axinite de l'Oisans, par Rammelsberg :

SiO^2	B^2O^3	Al^2O^3	Fe^2O^3	MnO	CaO	MgO	K^2O
44.57	4.50	16.37	9.67	2.62	20.19	1.73	0.11

Garniérite, $9H^2O.8(Ni.Mg)O.7SiO^2$. — De Kanala, Nouvelle-Calédonie.

Échantillon vert pâle, amorphe, onctueux au toucher. Avec le carbonate de lithium fondu on a fortement les raies du silicium, du magnésium et de l'aluminium, mais *pas une seule du nickel*. Je n'ai pas réussi à les faire apparaître en prenant pour fondant successivement le bisulfate

Digitized by Google

de potassium, l'azotate de potassium et le borax. Le nickel, comme le fer, se manifeste difficilement par ce procédé.

Analyse de la garniérite, vert pâle, de Canala, par Liversidge :

SiO^2	NiO^2	MgO	Al^2O^3,Fe^2O^3	H^2O
51.94	2.32	21.85	1.36	23.17

Sphène, $CaO.TiO^2.SiO^2$. — De Zermatt.

Échantillon cristallisé, mais opaque. Par le carbonate de lithium il donne un très beau spectre complet du calcium et du silicium, dont la présence n'empêche pas de reconnaître facilement le titane, assez bien marqué dans le rouge, mais surtout caractérisé par son groupe capital de raies étroites, très brillantes, rapprochées et régulièrement espacées entre (501.4) et (498.2) à la limite de vert. La présence possible du manganèse en faible quantité, qui se trouve dans la variété de sphère dite greenovite, ne s'est pas manifestée par le groupe caractéristique Mnα (482.4-475.4), qui pouvait, du reste, se confondre avec des raies secondaires du titane. Le spectre du titane et celui du calcium sont plus faciles à rechercher par une seule jarre, car avec une faible condensation les raies secondaires affaiblies ne gênent plus la constatation immédiate des raies principales restées vives et brillantes, ni l'observation d'ensemble du spectre dont l'aspect général est révélateur du titane pour un œil tant soit peu exercé. J'ajouterai que j'ai trouvé le doublet rouge d'aluminium, bien visible, dans le sphène, où, du reste, certains échantillons ont donné à l'analyse jusqu'à 4 0/0 d'alumine.

Le spectre du titane a été donné dans « l'analyse spectrale directe », à propos des oxydes de titane et de l'ilménite (1).

(1) *Bull. Soc. Min.*, t. XVIII, p. 222 et 228 à 231 ; 1895.

Digitized by Google

Aérinite (composition hétérogène). — De Caserras, Aragon.

Le minéral, fondu avec le carbonate de sodium, donne les spectres brillants du silicium, calcium, magnésium, et un certain nombre de raies dans le bleu et le violet, attribuables seulement au vanadium. La vérification a été faite par l'étude du spectre de dissociation du vanadate de sodium, où les raies du vanadium ont été trouvées brillantes, avec coïncidence entre les raies capitales et celles que j'ai reconnues dans l'aérinite. Quelques-unes des lignes capitales du baryum ont été vues très faibles. Je ne parle pas du doublet d'aluminium, mal ou à peine visible par le carbonate de sodium, et dont la recherche, dans un minéral connu pour sa richesse en alumine, était sans intérêt.

Analyse de l'aérinite, par Damour :

SiO^2	TiO^2 (1)	Al^2O^3	Fe^2O^3	CaO	MgO	K^2O (1)	H^2O	VaO
44.45	0.41	11.80	12.70	10.16	5.86	1.31	12.74	tr.

Carbonates. — *Calcaires et calcite*, $CaOCO^2$.

Les différentes formes de carbonates de chaux, pulvérisées et dissoutes ou en suspension dans les carbonates de sodium ou de lithium, donnent le spectre complet du calcium dans l'étincelle condensée. J'ai reconnu en même temps dans plusieurs calcaires, notamment dans celui du pont de Bonieux, près de Saint-Jean-de-Maurienne, le spectre du magnésium et les principales raies du strontium. Avec ce procédé des spectres de dissociation, le strontium est visible avec une grande sensibilité, par ses raies bleues et violettes (2), faciles à distinguer de celles du calcium, et le magnésium par son unique triplet vert Mgα. En supprimant

(1) Le titane et le potassium n'ont pas été recherchés spectroscopiquement ici dans l'aérinite.

(2) Voyez ci-dessous à *Célestine*.

Digitized by Google

la condensation, on a le spectre de bandes orangées et vertes des sels de chaux, ou plutôt de la chaux, et les bandes d'un rouge vif de la strontiane, faciles à voir en même temps que les précédentes, parce qu'elles sont notablement moins réfrangibles. L'observation par les spectres de bandes est à recommander avec des spectroscopes peu dispersifs et peu absorbants, et lorsqu'on recherche seulement la chaux et la strontiane.

Sulfates. — *Gypse*, $CaO.SO^3,2H^2O$. — Des Buttes-Chaumont.

Cristaux lenticulaires transparents. Pulvérisés avec le carbonate de lithium et fondus avec lui, ils donnent le spectre de lignes du calcium très beau et complet, avec les bandes rouges et vertes de la chaux. Même avec une très forte condensation (6 jarres) et une coupure dans le circuit de décharge de la bobine, on n'arrive pas à faire apparaître les lignes du soufre, assez facilement visibles d'ordinaire dans les sulfates fondus (1). En faisant usage du carbonate de sodium comme dissolvant igné, qui, moins fusible, se volatilise aussi moins vite et permet de prolonger l'attaque à plus haute température, on obtient les groupes verts du soufre $S\alpha$, $S\beta$, $S\gamma$, $S\delta$, en lignes fines, très nettes et vives. La plus forte condensation possible est préférable. Les résultats ne paraissent pas améliorés par l'emploi de sels réducteurs comme les cyanures alcalins.

Il ne faudrait donc pas espérer dans les sulfates alcalino-terreux une sensibilité de diagnostic du soufre de même ordre que dans les sulfures où elle est, au contraire, très grande.

Le sulfate de chaux pur précipité a donné les mêmes résultats avec le carbonate de sodium.

(1) *Comptes Rendus*, 8 juin 1896.

Digitized by Google

Célestine, $SrO.SO^3$. — Sicile.

Des cristaux brillants de célestine, accompagnés de soufre natif, mais soigneusement débarrassés de celui-ci, étudiés par le carbonate de lithium, donnent une seule raie notable dans le rouge (640.9), mais très développée dans le vert et toute la partie plus réfrangible du spectre où les raies bleues et violettes (460.8) (430.6) (421.6) (407.8) sont faciles à distinguer de celles du calcium dans la même région. J'ai eu, en outre, quelques raies capitales du baryum bien visibles dans le rouge (649.7) (614.2) et dans le bleu (493.4) (455.4), et une qui, dans le vert, est pratiquement commune aux deux spectres Ba (553.57), Sr (553.50). Pour la recherche du soufre, mêmes difficultés qu'avec le gypse et supériorité d'emploi du carbonate de sodium.

Barytine, $BaO.SO^3$. — Du Puy-Chateix, Puy-de-Dôme.

Cristaux transparents, un peu jaunâtres. Avec le carbonate de lithium, pulvérisés et fondus, ils présentent avec une très grande intensité les raies les plus fortes du baryum, surtout dans le rouge et le vert. Même avec une forte condensation (5 à 6 jarres), les raies d'importance secondaire sont peu nombreuses, beaucoup moins qu'en étudiant, dans les mêmes conditions et à quantité égale de Ba, le chlorure de baryum ou l'hydrate de baryte.

Mêmes observations en ce qui concerne les raies du soufre que pour le gypse et la célestine.

Minéraux divers. — *Oligiste*, Fe^2O^3. — Ile d'Elbe.

La grande difficulté à obtenir le spectre du fer par la méthode des sels fondus m'a conduit à expérimenter l'essai spectral de l'oligiste en suspension dans le carbonate de lithium fondu. Un peu de gangue sans doute entraînée a amené des raies du silicium, du calcium, de l'aluminium. J'ai eu les principales raies du fer assez vives, mais irrégulièrement. L'oli-

Digitized by Google

giste semble donner son spectre par ses grains isolés en suspension dans le sel fondu, et sans combinaison avec celui-ci. On sait comment l'absence complète de conductibilité de l'acide borique et du borax m'ont empêché de recourir à l'intermédiaire de ce dissolvant igné.

Je rappellerai que l'oligiste, peu conducteur cependant, donne un spectre du fer qui, sans être intense, se montre parfaitement net, par le procédé de l'analyse directe (1).

Sidérochrome, $FeO.Cr^2O^3$ et $(Mg,Fe)\ O.Cr^2O^3$.— Silésie et Brousse (Asie Mineure).

J'avais cru préférable d'employer, comme dissolvant igné de la poudre de fer chromé, l'azotate de potassium, afin de transformer avec plus de certitude le sesquioxyde de chrome en sel chromique fusible. On a, en effet, de cette manière un brillant spectre du chrome formé de lignes très vives et peu nombreuses dont voici les principales : dans le vert (541.0) forte, et le triplet caractéristique du chrome $Cr\alpha$ (520.9) (520.6) (520.5), apparaissant comme une seule raie avec un seul prisme ; et dans l'indigo le triplet $Cr\beta$ (429.0) (427.5) (425.5). On a des résultats plus durables en diminuant la grande fusibilité de l'azotate par l'addition d'une certaine quantité de carbonate. Des essais postérieurs ont montré que le procédé habituel, avec le carbonate de lithium seulement, donnait d'aussi bons résultats et avec autant de rapidité. On a obtenu avec l'un ou l'autre de ces sels, en plus du spectre du chrome, le triplet vert du magnésium $Mg\alpha$ très fort, et les raies bleues ou violettes du calcium, bien visibles.

Avec un échantillon que j'avais rapporté des environs de Brousse (Asie Mineure), outre les raies ci-dessus, j'ai vu les doublets du silicium, celui de l'aluminium et ceux du sodium.

(1) *Bull. Soc. Min.*, t. XVIII, p. 227 ; 1895.

Digitized by Google

J'ajouterai qu'une faible condensation suffit pour faire apparaître les raies vertes du chrome avec une grande sensibilité.

Analyse du fer chromé (magnochromite) de Grochau, Silésie par Beck :

Cr^2O^3	Al^2O^3	FeO	MsO
40.78	29.92	15.30	14.0

Blende, ZnS. — Picos de Europa, Santander.

La blende n'étant pas conductrice, je n'avais pu en faire l'étude par la méthode d'analyse spectrale directe. Le procédé des sels fondus paraissait donc indiqué dans ce cas, et il s'est en effet montré satisfaisant. Les raies principales du zinc y sont vives et brillantes, quelque soit le sel employé, mais les raies secondaires n'ont pas apparu. Avec le carbonate de sodium, les groupes verts du soufre $S\alpha$, $S\beta$, $S\gamma$, $S\delta$, $S\varepsilon$, sont vifs et très bien marqués ; ils commencent à apparaître avec deux jarres de condensation. Le carbonate de lithium semble un peu moins favorable à la production du spectre de lignes du soufre dans la blende, mais il a permis d'apercevoir le doublet rouge de l'aluminium, faible. On a vu aussi, dans la blende hyaline rougeâtre de Santander, les deux principales raies vertes de l'argent $Ag\alpha$ (546.6) et $Ag\beta$ (520.9) ; elles sont peu intenses et se voient mieux avec une faible condensation, d'une jarre par exemple, insuffisante pour produire les lignes du soufre. La ligne la plus sensible du calcium (422.7) est apparue, à peine visible. Un échantillon noirâtre de blende opaque, de Pierrefitte (Hautes-Pyrénées) a donné, outre les spectres du zinc et du soufre, le doublet de l'aluminium, et la plus forte raie du cadmium (480.0), qui est aussi la dernière à disparaître, assez bien visible.

Digitized by Google

Cryolite, $3NaFl.AlFl^3$. — D'Arsuk, Groenland.

J'avais donné, dans « l'analyse spectrale directe des minéraux », le résultat sommaire de l'examen de la cryolite fondue dans l'étincelle condensée (1), et signalé, outre le spectre complet du sodium, le doublet rouge de l'aluminium et les deux raies rouges du lithium. En reprenant cette étude avec une plus forte condensation (6 jarres), j'ai obtenu nettement les deux principaux doublets du silicium Siα rouge et Siγ vert. Des traces de magnésium sont indiquées par (518.4), la plus forte raie et la dernière à disparaître du triplet vert Mgα. Quelques faibles lignes, notamment (422.7) indiquent aussi une petite quantité de calcium.

Analyse de la cryolite du Groenland, par Brandl :

Fl	Al	Na
54.15	13.07	32.56.

Comme on le voit dans les exemples présentés au cours de ce travail, la plupart des corps simples donnent des résultats satisfaisants par cette méthode. Elle est cependant défectueuse ou insuffisante pour quelques-uns, tels que le fer et les métaux de son groupe, pour le fluor et pour le bore. De plus, il ne faut pas s'attendre à une sensibilité de même ordre pour tous les éléments, surtout quand un grand nombre d'entre eux se manifestent simultanément. La complication des spectres obtenus dans ce cas peut être notablement simplifiée, en diminuant la condensation qui, réduite à une seule jarre, laisse apparaître seulement les métaux, représentés alors chacun par très peu de lignes capitales.

---

(1) *Bull. Soc. Min*, t. XVIII, p. 363 ; 1895.

Digitized by Google

TABLE DES MATIÈRES.

Pages.

I. — Exposé de la méthode et dispositifs..... 94
Appareils producteurs de l'étincelle..... 97
Spectroscope. Mesure des longueurs d'onde..... 98

II. — Spectres des corps simples.
Carbone..... 100
Silicium..... 101
Lithium..... 102
Sodium..... 103
Potassium..... 103
Rubidium..... 104
Cœsium..... 104
Calcium..... 105
Strontium..... 107
Baryum..... 108
Magnésium..... 108
Glucinium..... 109
Manganèse..... 109
Chrome..... 110
Vanadium..... 110
Zirconium..... 111
Aluminium..... 112

III. — Spectres des minéraux.
Silicates : Feldspaths. Orthose adulaire..... 113
» cassinite..... 114
Albite..... 115
» péristérite..... 116
Oligoclase..... 116
Labrador..... 117
Anorthite..... 117
Pétalite..... 118
Pollux..... 118
Triphane..... 119
Rhodonite..... 120
Béryl..... 120
Grenat Spessartine..... 121

Digitized by Google

Pages.
Zircon 121
Axinite 122
Garniérite 122
Sphène 123
Aérinite 124
Carbonates : Calcaires et calcite 124
Sulfates : Gypse 125
Célestine 126
Barytine 126
Minéraux divers : Oligiste 126
Sidérochrome 127
Blende 128
Cryolite 129

Digitized by Google

Minéraux nouveaux.

Grünlingite. — MM. W. Muthmann et E. Schröder (*Zeitsch. f. Kryst.*, XXIX, p. 144) ont désigné sous ce nom un minéral telluré du Cumberland, analysé autrefois par Rammelsberg et rapporté à la tétradymite. Ce minéral possède en effet les mêmes propriétés cristallographiques que cette substance, mais il en diffère par sa composition. Sa densité est de 7,321.

L'analyse a donné les résultats suivants :

	I	II
S	9,31	9,40
Bi.	79,31	78,82
Te.	12,82	12,66
Total. . . .	101,44	100,88

La formule Bi^4S^3Te représente la composition de la grünlingite. Ce minéral est analogue à la karelinite, dont la composition répond à la formule Bi^4O^3S. Le minéral a été dédié à M. Grünling, conservateur de la collection de Minéralogie de Munich.

Fuggerite. — Minéral trouvé dans la vallée de Monzoni, près de Le Selle. Sa composition est intermédiaire entre celle de la gehlenite et de l'akermanite. L'analyse a donné :

SiO^2, 34,04 et 33,85 ; Fe^2O^3, 3,49 et 3,56 ; Al^2O^3, 17,97 et 17,41 ; MgO, 4,89 ; CaO, 37,65 ; MnO, traces ; K^2O, traces ; Na^2O, 2,04.

Cette composition correspond à un mélange de 3 molécules d'akermanite et 10 molécules de gehlenite.

La fuggerite diffère cependant des minéraux du groupe de la gehlenite en ce qu'elle est monoréfringente pour certaines couleurs (jaune) et, bien que le minéral soit probablement quadratique, il appartiendrait à une série dimorphe de la série gehlenite-akermanite. Ce nouveau minéral, décrit par M. Weinschenk (*Zeitsch. fur Kryst.*, t. XXVII, p. 577), a été dédié à M. Fugger, de Salzbourg.

Digitized by Google

Derbylite. — Antimoniotitanate de fer cristallisant dans le système orthorhombique. Les cristaux présentent les faces m (110), h^1 (100) et p (001). L'angle $mh^1 = 44° 0' 45''$ et $p\overset{1}{a^2}$ (011) $= 28° 49' 18''$, d'où $a : b : c = 0,96612 : 1 : 0,55025$.

Les faces du prisme sont lisses et brillantes, celles de la macropinacoïde sont rugueuses, aussi l'angle 001 : 011 est calculé d'après la macle, qui est semblable à celle de la staurotide (croix de Saint-André); la face d'association étant supposée (011), les axes verticaux des deux cristaux font un angle de 57° 38′ 36″. — Trois cristaux sont quelquefois maclés.

Les cristaux sont noirs de poix, les fragments sont translucides sur les bords. Éclat résineux. Dureté, 5 environ. Densité, 4,529 à 4,51. Biaxe. Polychroïsme faible.

Insoluble dans les acides, mais décomposée par fusion par le sulfate de potasse. Avec le sel de phosphore, la derbylite donne à la flamme réductrice une perle jaune à chaud et violette à froid.

L'analyse a donné :

	VI	II
Sb^2O^5	19	24,19
TiO^2	35,8	34,56
SiO^2	3,1	3,50
Al^2O^3	»	3,17
FeO	33,9	33,10
CaO	0,4	0,32
Na^2O	»	0,76
K^2O	»	0,28
Perte au feu	0,5	0,5
Indéterminée, partie perdue de Sb^2O	7,3	»
	100	99,38

D'où la formule $FeO,Sb^2O^5 + 5FeO,TiO^2$, déduite de l'analyse II. La Derbylite, dédiée à M. Derby, directeur du service géographique et géologique des *Geological Survey* de Sao-Paulo, a été trouvée dans les sables du gisement de cinabre Tres

Digitized by Google

Crozes, Tripuhy, près de Ouro Preto, Minas Geraes (Brésil), associée à la Lewisite. — Les cristaux de Derbylite ont de 2 à 3 millimètres de long; ils sont assez souvent inclus dans de la Muscovite, étant sous ce rapport semblables à ceux de Lewisite. — Les deux minéraux provenant des schistes de Muscovite accompagnent l'Itabirite dans le voisinage de Tripuhy (Em. Hussak et G.-I. Prior, *Min. mag.*, t. XI, p. 176, 1897).

Valléite. — Amphibole rhombique de couleur rose ou incolore ressemblant à l'anthophyllite et accompagnant la trémolite violette de Edwards, Saint-Lawrence Co., New-Jersey. Sa densité est de 2,88; et sa dureté de 4,5.

Les faces observées sont m (110), h^1 (100), et probablement (920). L'angle $mm = 54° 30'$; l'angle g^1 (010) $e^{1/2}$ (021) $= 63°$:

$$a : b : c = 5,515 : 1 : 0,255.$$

Clivages suivant h^1, g^1, m, $e^{1/2}$ (012), p (001) et peut-être suivant deux autres faces faisant 75° et 53° avec l'axe vertical et qui correspondent apparemment à e^1 (011) et à $e^{1/3}$ (031).

Le plan des axes optiques est dans g^1, $2E = 90° 28'$. Double réfraction négative. La bissectrice aiguë est perpendiculaire à h^1.

L'analyse, faite par M. Renard, a donné les résultats suivants :

SiO^2 58,02; MgO 27,99; CaO 5,04; Fe^2O^3 1,28;
MnO 2,88; K^2O 0,89; H^2O 3,13; Total 99,23.

La formule $RSiO^3$ représente la composition de ce minéral.

La valléite représente dans le groupe des amphiboles orthorhombiques ce que la trémolite représente dans les amphiboles clinorhombiques.

La valléite a été dédiée à M. de la Vallée-Poussin (G. Cesàro, *Bull. de l'Ac. roy. de Belgique*, t. XXIX, p. 508, et t. XXXII, p. 536).

Digitized by Google

BULLETIN

DE LA

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE MINÉRALOGIE

ANNÉE 1898. — BULLETIN N° 5.

Compte rendu de la séance du 12 mai 1898.

PRÉSIDENCE DE M. WALLERANT.

M. CH. FRIEDEL présente la note suivante.

Muscovite compacte de Montrambert (Loire)

Par M. Georges FRIEDEL.

On trouve en abondance dans les schistes micacés rencontrés en profondeur par les puits Devillaine de la houillère de Montrambert (Loire), un minéral assez curieux par l'aspect inaccoutumé qu'il présente. Ces schistes sériciteux, appartenant à la partie supérieure du terrain primitif, contiennent des noyaux de quartz blanc en forme d'amandes sur lesquels se moulent les feuillets micacés ; au contact du quartz le schiste passe souvent à une matière compacte, en apparence complètement amorphe, dans laquelle n'apparaissent plus ni le feuilletage, ni l'éclat nacré du mica. Cette matière,

Digitized by Google

de couleur vert jaunâtre en masse incolore en petits fragments, est très translucide, transparente même sur les bords. Sa cassure grasse, un peu esquilleuse, rappelle celle de la néphrite, sa ténacité également. Sa dureté est à peu près celle de la calcite ; elle raie le spath aisément sur la face *p* dans le sens de la petite diagonale en remontant vers le sommet ternaire, mais très difficilement en sens inverse ; par contre, un angle du spath la raie, quoique difficilement.

La densité est de 2,783 à 15°.

L'analyse, faite sur des fragments triés avec soin, a donné :

SiO^2	45,77
Al^2O^3	37,70
Fe^2O^3	1,98
CaO	0,95
MgO	0,89
Na^2O	0,75
K^2O	7,66
H^2O	4,51
	100,21

Ce qui correspond très exactement à la formule :

$$2SiO^2,Al^2O^3,RO$$

avec

$$R = \frac{2}{3} H^2 + \frac{1}{3} aK^2, Na^2, Mg, .C$$

C'est la formule d'une muscovite.

En lame mince, l'examen microscopique montre que la substance est entièrement cristalline, composée de lamelles allongées, fibreuses, ayant tous les caractères de la muscovite : fibres s'éteignant en long, à allongement positif, biaxes négatives avec axes écartés. Ces fibres sont ou bien enche-

Digitized by Google

vêtrées irrégulièrement, ou bien disposées en palmes exactement comme dans les échantillons macroscopiques bien connus de mica palmé. De plus, la masse est traversée de filonnets irréguliers, remplis de la même substance, disposée en fibres normales aux parois des petites cassures. Comme substances étrangères, on ne distingue que quelques rares grains de zircon. La substance en question est donc bien une muscovite compacte, composée de cristaux microscopiques. Par sa composition et son apparence amorphe elle se rapprocherait des nombreux produits de décomposition du groupe de la pinite, bien que sa transparence les en éloigne. Mais, rencontrée ainsi au milieu des schistes sériciteux, à plusieurs milliers de mètres au-dessus des gneiss à cordiérite, dans un étage où l'on ne connaît aucun minéral susceptible de fournir par décomposition des produits de ce genre, elle me paraît ne devoir être considérée que comme une variété particulière de la séricite qui abonde dans cette formation.

Sur le gîte cuprifère d'Inguaran, État de Michoacan (Mexique)

Par M. E. Cumenge.

Le gîte cuprifère d'Inguaran, que j'ai récemment étudié au point de vue de son exploitation prochaine, m'a paru offrir quelques particularités dignes d'intéresser la Société de Minéralogie.

Le gisement d'Inguaran n'a pas présenté jusqu'ici, comme son aîné le Bolés, d'espèces minérales nouvelles analogues à celles que notre savant et regretté confrère M. Mallard avait dénommées et si bien décrites, et dont

Digitized by Google

de beaux spécimens, présentés à la Société par M. E. Cumenge, ornent actuellement les collections de l'École des Mines ou du Muséum. La pyrite cuivreuse ou chalcopyrite est l'espèce dominante dans le gîte d'Inguaran et s'y présente en de telles masses et dans des conditions si particulières que l'on est en droit d'espérer que ce centre de production de cuivre deviendra l'un des plus considérables du monde, lorsque les difficultés d'accès actuelles auront été vaincues.

La montagne d'Inguaran forme l'un des contreforts de la Sierra Madre dans la partie qui traverse l'État de Michoacan au nord-ouest de Mexico. On peut franchir pour s'y rendre, en dix-huit heures de chemin de fer, la distance qui sépare la capitale de la station de Pazcuaro, terminus d'un embranchement qui relie cette dernière ville à Morelia, capitale de l'État de Michoacan, située elle-même sur le *Mexican Central rail road*. Mais de Pazcuaro à Inguaran on ne peut se rendre qu'à dos de mule, et le trajet n'exige pas moins de deux jours et demi à trois jours, par des sentiers très accidentés. On doit en effet descendre du haut plateau à l'altitude de 2.400 mètres pour traverser les terres chaudes et remonter à la cote de 800 mètres, qui est celle des travaux d'Inguaran.

Le volcan de Jurulho, qui, il y a environ un siècle, a surgi au centre d'une vaste et fertile plaine, en la couvrant de ses cendres et de ses laves, se dresse à quelques kilomètres d'Inguaran avec son cône régulier de 600 mètres de hauteur.

Sans entrer dans des détails géologiques circonstanciés, on peut dire que des phénomènes cosmiques d'une grande intensité se sont produits dans cette région à des âges géologiques plus reculés. Telle est la venue considérable d'*andésite*, au contact de laquelle se trouve le gisement en question, compris entre cette roche éruptive et le granit qui forme l'ossature des montagnes environnantes.

Digitized by Google

Une bande de *microgranulite* sépare le granit d'andésite sur une largeur de 7 à 800 mètres et sur une longueur de 8 à 10 kilomètres, depuis le bas de la montagne d'Inguaran jusqu'aux sommets, à une différence d'altitude de 1.000 mètres.

C'est dans cette bande, sur toute cette longueur que sont alignés, dans une zone de fracture, les amas minéraux connus sous le nom de *Guedales* dans le pays.

Pour donner une idée de l'importance de ces amas, nous dirons que l'un d'eux, au pied de la montagne, contiendrait à lui seul plus de 30 millions de tonnes de minerai, d'après les évaluations les plus modestes des ingénieurs qui ont pu l'étudier, grâce aux travaux anciens qui sillonnent ces amas.

Inguaran a été, en effet, le centre d'une exploitation depuis les âges les plus reculés ; les Aztèques ou plutôt les Tarasques, anciens habitants de ces régions, les Espagnols ensuite et, de nos jours encore, les Mexicains, ont extrait de la montagne d'Inguaran le minerai servant à produire le cuivre destiné à la fabrication d'ustensiles domestiques.

La petite ville de Santa Clara del Cobre a encore quelques usines rudimentaires où l'on peut voir de nos jours en usage la méthode des premiers âges de la civilisation.

Le minerai pyriteux, concassé à la main entre deux pierres, est concentré par le lavage à une sorte de table dormante, grillé *à mort* et fondu dans un trou creusé en terre, à l'aide de charbon de bois et de soufflets à main. Le cuivre noir produit est affiné de même au petit foyer, et le culot de cuivre est façonné au marteau par des ouvriers dont l'habileté est mise en évidence par le spécimen présenté à la Société. Ce spécimen témoigne aussi de l'excellente qualité du cuivre produit par ces méthodes primitives, grâce à l'absence de tout composé arsenical ou antimonial.

Digitized by Google

Les *Guedales* d'Inguaran sont des amas bréchiformes composés de fragments plus ou moins volumineux de microgranulite un peu altérée dont le minerai pyriteux forme le ciment. Quelques cristaux de quartz et quelques cristaux de calcite s'y montrent avec peu d'abondance ; de telle sorte qu'on peut dire que le minerai cuivreux a ici une gangue porphyrique, au lieu de la gangue presque exclusivement quartzeuse qui le caractérise dans la plupart des gîtes filoniens ou de la gangue de pyrite de fer qui caractérise les grands gisements de la province d'Huelva et, en particulier, de Rio-Tinto.

L'espèce minérale cuivreuse prédominante dans ce minerai est, ainsi que nous l'avons dit, la chalcopyrite en mouches et veinules plus ou moins épaisses offrant quelquefois des cristaux assez volumineux. La chalcopyrite est accompagnée de cuivre panaché, ou Bornite, et de sulfure noir, ou chalcosine. Ces deux dernières espèces, beaucoup plus riches en cuivre que la chalcopyrite, se montrent parfois en plaquettes assez épaisses accolées aux blocs de microgranulite plus durs et moins altérés que la masse bréchoïde. Ces blocs atteignent des épaisseurs de quelques mètres et forment, sous le nom de *caballos*, quelques petites régions stériles au milieu de l'amas uniformément minéralisé.

La teneur générale moyenne paraît être de 3 à 4 0/0 de cuivre. En raison de la différence de densité de la gangue porphyrique et du mode de dissémination du minerai proprement dit, une *concentration* par voie de *préparation mécanique* ne doit présenter aucune difficulté. Les *concentrés* obtenus par le mode primitif de traitement que nous avons esquissé atteignent une teneur de 32 à 33 0/0 de cuivre.

Ce résultat remarquable, si on le compare à celui qui est obtenu dans les gisements à gangue quartzeuse où les *concentrés* dépassent rarement 15 0/0 de teneur, est dû à

Digitized by Google

l'absence presque complète de pyrite de fer dans les Guedales d'Inguaran.

C'est là un fait intéressant à signaler, car il fait exception à la loi générale des gîtes cuprifères. On sait, en effet, que, dans les gisements du Montana et, entre autres, dans la fameuse mine de l'Anaconda, les filons ont présenté aux affleurements des masses compactes de chalcosine accompagnées de pyrite de fer, et que cette dernière espèce devient de plus en plus prédominante, en même temps que la chalcopyrite se substitue à la chalcosine ; cette diminution de la richesse cuivreuse en profondeur et sa disparition presque complète à 4 ou 500 mètres de profondeur s'observent aussi bien dans le Montana que dans le Chili et paraît être une loi générale toutes les fois que la pyrite de fer est associée en forte quantité à la pyrite cuivreuse.

A Inguaran, on retrouve la bornite, la chalcosine et la chalcopyrite, aussi bien dans les amas du bas de la montagne qu'à une altitude supérieure de 1.000 mètres vers le sommet, sans que la pyrite de fer fasse son apparition en quantité instable. Dans l'un des amas appelé San-Luis, la pyrite de fer est un peu plus apparente, mais paraît être due à une réouverture et à une seconde venue.

En tout état de cause, les Guedales d'Inguaran paraissent être appelés à jouer un grand rôle dans la production du cuivre dans le monde.

Les ressources minérales de cette région sont si considérables que l'on conçoit sans peine la facilité d'y produire 25 à 30.000 tonnes de cuivre métallique par an, base sur laquelle sont arrêtés les projets d'exploitation. Cet appoint ne sera pas inutile, si l'on considère l'énorme consommation actuelle du cuivre et le développement toujours croissant que les besoins de l'électricité sont appelés à donner à la consommation future du précieux métal.

Digitized by Google

La production du métal est en arrière, chaque année, de 15.000 tonnes sur la consommation, qui a atteint 410.000 tonnes l'année dernière, et il est heureux pour l'industrie qu'un gisement de l'ampleur de celui d'Inguaran puisse venir combler les vides qui se produiront d'ici à quelques années par l'épuisement ou l'appauvrissement de quelques-uns des grands centres producteurs.

Comptes rendus des publications étrangères.

A. DE SCHULTEN. — *Reproduction artificielle de la lanarkite.*

Je prépare la lanarkite par l'action de l'acétate basique de plomb $Pb(C^2H^3O)^2,PbO$ sur le sulfate de sodium. On dissout 20 grammes d'acétate neutre de plomb, on ajoute à la solution $2^{gr},3$ d'hydrate de sodium et on verse la liqueur filtrée dans une dissolution chaude de 100 grammes de sulfate de sodium, $Na^2SO^4 + 10Aq$. Il se précipite de petits cristaux ayant la composition de la lanarkite, ainsi que le montrent les nombres suivants donnés par l'analyse :

	Trouvé	Calculé pour $2PbO,SO^3$
PbO.....	84,07	84,78
SO^3.....	15,66	15,22
	99,73	100,00

Les cristaux fondent quand on les chauffe au rouge vif. Le culot est formé de longs prismes enchevêtrés.

La densité des cristaux est de 6,923 à 15°. La densité de la lanarkite naturelle est de 6,8, d'après M. Pisani.

Digitized by Google

J'ai obtenu des cristaux plus volumineux de lanarkite par voie de diffusion. On remplit un vase cylindrique de 2 litres avec une dissolution de 200 grammes d'acétate neutre de plomb et 23 grammes d'hydrate de sodium ; on place ce vase dans un vase plus grand, on verse dans celui-ci une dissolution concentrée de 300 grammes de sulfate de sodium, et on remplit le vase avec de l'eau récemment bouillie, de telle manière qu'elle ne se mélange pas aux dissolutions salines.

Au bout de quelque temps il se développe dans le vase extérieur des aiguilles de lanarkite, qui atteignent quelques millimètres de longueur. Ces aiguilles sont le plus souvent formées par le groupement de petits prismes accolés parallèlement à leur sens d'allongement. Plus tard apparaissent des cristaux d'anglésite s'associant à la lanarkite. L'anglésite est en prismes aplatis suivant p(001) ; l'angle des normales mm (110) (110), mesuré au microscope, a été trouvé égal à 76° environ.

La lanarkite est en cristaux prismatiques incolores, limpides et brillants, allongés suivant la zone ph^1 (001) (100), comme les cristaux naturels. Dans cette zone j'ai pu mesurer au goniomètre les angles des normales suivantes :

	Cristaux artificiels	Cristaux naturels d'après Schrauf
h^1p (100) (001)	87° 45′	88° 11′
h^1o^3 (100) (103)	60° env.	60° 36′

Chez les cristaux artificiels, comme chez le minéral naturel, on constate souvent le défaut de parallélisme des arêtes po^3(001) (103) et h^1o^3(100) (103) ; la face o^3(103) est, par conséquent, remplacée par une face vicinale. Les cristaux sont terminés par de petites faces de hémipyramides faisant entre elles des angles très obtus.

Digitized by Google

Les extinctions sont longitudinales. L'allongement est positif. Le plan des axes optiques est parallèle à g^1(010). La biréfringence est d'environ 0,03.

A. DE SCHULTEN. — *Reproduction artificielle de la lautarite.*

En continuant mes recherches synthétiques sur les minéraux nouveaux trouvés dans les gisements de nitrate de sodium du Chili, par Dietze, et décrits par lui(1) et par M. A. Osann (2), je suis parvenu à produire artificiellement la lautarite, iodate de calcium anhydre cristallisant en prismes monocliniques.

J'obtiens la lautarite artificiellement par la fusion du nitrate de sodium avec de l'iodate de calcium amorphe. On fond 400 grammes de nitrate de sodium dans une capsule de platine, on chauffe la masse fondue jusqu'à la température où le sel commence à dégager de l'oxygène, on fait dissoudre de l'iodate de calcium dans le nitrate fondu jusqu'à saturation (environ 125 grammes du sel $Ca(IO^3)^2 + H^2O$, obtenu par desséchement à 100° du sel précipité

$$Ca(IO^3)^2 + 6\,H^2O$$

et on laisse refroidir très lentement. Par le refroidissement de la masse fondue il se dépose des cristaux brillants de lautarite qu'on sépare du nitrate de sodium par un lessivage à l'eau froide. L'iodate de calcium étant un peu soluble dans l'eau, il faut avoir soin d'effectuer le lessivage le plus rapidement possible si l'on veut obtenir des cristaux se prêtant aux mesures goniométriques.

(1) *Zeitschrift für Krystallographie*, t. XIX, p. 445; 1891.
(2) *Zeitschrift für Krystallographie*, t. XXIII, p. 584; 1894.

Digitized by Google

Deux analyses des cristaux ont fourni les nombres suivants qui conduisent à la formule de la lautarite $Ca(IO^3)^2$:

	Trouvé I	Trouvé II	Calculé
CaO	14,31	14,38	14,36
I^2O^5	85,46	85,55	85,64
	99,77	99,93	100,00

La densité des cristaux est de 4,591 à 15°.

La lautarite artificielle est en prismes monocliniques. Les dimensions des plus gros cristaux atteignent 2 à 3 millimètres. On observe les faces p(001), e^1(011), m(110) et g^3(120). Les faces les plus développées sont ordinairement e^1(011) et g^3(120); la face p(001) manque souvent.

Je donne ici les angles des normales que j'ai mesurés et les angles du minéral naturel mesurés par M. Osann:

	Cristaux artificiels	Cristaux naturels
mm (110) $(1\bar{1}0)$ =	62° 37′	62° 33′
g^3g^3 (120) $(1\bar{2}0)$ =	101° 7′	—
mp (110) (001) =	76° 7′	76° 15′
e^1e^1 (011) $(0\bar{1}1)$ =	63° 47′	63° 36′

V. Goldschmidt. — *Krystallographische Winkeltabellen.* — Berlin, 1897.

Dans cet ouvrage, M. V. Goldschtmid donne la valeur des constantes cristallographiques de tous les minéraux et leurs formes connues. Mais les faces, au lieu d'être déterminées par la valeur des angles qu'elles font entre elles, sont rapportées à deux éléments fixes: un premier méridien et un pôle. Deux angles ($\varphi\rho$) caractérisent par conséquent une forme.

Le méridien choisi est celui qui, dans les projections sté-

Digitized by Google

réographiques d'un cristal, se projette suivant le diamètre horizontal. L'angle φ est évalué de 0° à 180°. Il est positif quand la rotation à partir du méridien se fait dans le sens des aiguilles d'une montre, et négatif dans le cas contraire.

Le pôle pris comme point de repère coïncide avec le centre du cercle de la même projection stéréographique. C'est compté de 0° à 90°, du pôle à l'équateur.

La détermination des angles φ et ρ se fait très facilement au moyen du goniomètre à deux cercles de M. V. Goldschmidt.

Les tableaux comprennent la mesure des angles φ et ρ des faces de :

85	minéraux du système	cubiques	avec	680	formes
46	—	quadratiques	—	518	—
94	—	hexagonaux	—	1.367	—
158	—	rhombiques	—	2.329	—
127	—	monocliniques	—	2.137	—
258		tricliniques	—	501	—

En tout 538 genres avec 7.532 formes.

En outre, l'auteur donne pour chaque forme la valeur de quatre autres angles ξ_0, η_0, ξ, η. Ils servent à vérifier les deux autres ($\varphi\rho$).

Avec l'aide de ces tableaux il est facile de déterminer rapidement par la mesure des angles φ et ρ à quelle forme on a affaire. Si la mesure de ces deux angles donne des nombres différents de ceux qui y sont indiqués, l'on a une forme nouvelle.

L'introduction très détaillée qui précède ces tableaux donne aussi les procédés pour calculer les angles φ et ρ, dits angles de position, les angles ξ_0, η_0, ξ, η et les autres valeurs cristallographiques.

Le Secrétaire, gérant,
PAUL GAUBERT.

Tours. — Imprimerie DESLIS FRÈRES.

Digitized by Google

HARVARD UNIVERSITY, CAMBRIDGE, MASS.
Dept. of Mineralogy & Petrography.

BULLETIN

DE LA

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE MINÉRALOGIE

ANNÉE 1898. — BULLETIN N° 6.

Compte rendu de la séance du 9 juin 1898.

PRÉSIDENCE DE M. WALLERANT.

M. le Président proclame membres de la Société :

M. le Dr Fr. Græff, professeur à l'Université de Fribourg-en-Brisgau, présenté par MM. Ch. Friedel et Termier.

M. l'abbé Poyard, chapelain de Notre-Dame de Fourvières, à Lyon, présenté par MM. Gonnard et Lacroix.

M. A. Welter, libraire-éditeur, 59, rue Bonaparte, présenté par MM. Lacroix et Gaubert.

Digitized by Google

M. Termier fait la communication suivante :

Sur une variété de zoïzite des schistes métamorphiques des Alpes et sur les propriétés optiques de la zoïzite classique

Par M. P. Termier.

J'ai signalé (1), en 1891, dans les schistes métamorphiques du terrain permien du massif de la Vanoise (Alpes de Savoie), l'existence de très petits cristaux d'un minéral qui me paraissait être une variété de zoïzite, différant de la zoïzite classique par une dispersion beaucoup moindre, et que j'appelais, pour fixer les idées, *zoïzite sans dispersion*. Je reproduis ici les termes dans lesquels je décrivais ce minéral microscopique.

« Il est absolument incolore en lames minces. Il possède « un relief comparable à celui de l'épidote. Les sections ont « un contour irrégulier, à angles arrondis : certaines sont « vaguement hexagonales. La biréfringence est extrêmement « faible. La plupart des sections restent (entre les nicols « croisés) dans les gris noirs du premier ordre (plaques « de $\frac{1}{50}$ de millimètre d'épaisseur). Les sections qui pré- « sentent un allongement sensible s'éteignent, par rapport « à cette direction d'allongement, sous de très petits angles. « Le signe de l'allongement est variable.

« Le signe du minéral est positif. L'angle des axes « optiques (2V) est voisin de 60°.

« Les sections sont sillonnées de fentes irrégulières. Il « n'y a pas d'inclusions.

(1) *Étude sur la constitution géologique du massif de la Vanoise*, Bulletin des services de la carte géologique de France, t. II, p. 398.

Digitized by Google

« Ces caractères sont ceux de la zoïzite. Mais l'une des « propriétés de la zoïzite manque ici : la dispersion des axes « optiques. L'extinction est franche, et l'on n'observe pas « ces nuances violacées qui signalent immédiatement, entre « les nicols croisés, la zoïzite. Les sections assez grandes « pour donner des images en lumière convergente fournissent « des images assez nettes sans emploi de lumière mono- « chromatique. Malgré cette absence de dispersion, nous « rapportons provisoirement à la zoïzite le minéral incolore « dont il vient d'être parlé. Ce serait une variété remar- « quable de zoïzite. Sinon, c'est une espèce minérale nou- « velle. La petitesse des cristaux $\left(\frac{1}{10}\right.$ de millimètre au plus$\left.\right)$ « ne permet malheureusement pas d'isoler le minéral. »

Depuis lors, ce même minéral a été fréquemment observé dans d'autres schistes métamorphiques des Alpes, plus ou moins analogues à ceux de la Vanoise. M. Franchi m'écrivait, en 1896, qu'il l'avait trouvé dans de nombreuses roches provenant du métamorphisme des gabbros, et que, comme moi, il ne doutait pas que ce ne fût une épidote analogue à la zoïzite : « J'y ai observé, ajoutait M. Franchi, un fait sin- « gulier : une partie à moindre biréfringence, dans la région « axiale, limitée (cette partie) par des courbes hyperbo- « liques. »

Dans le courant de l'été de 1897, M. Kilian, professeur à la Faculté des Sciences de Grenoble, eut l'occasion d'étudier les schistes métamorphiques de la haute vallée du Pellice (Alpes Cottiennes), parmi lesquels on rencontre beaucoup de termes provenant de la transformation de roches éruptives basiques (gabbros). Il me fit l'honneur de soumettre à mon examen un certain nombre d'échantillons choisis parmi les plus caractéristiques. Plusieurs renfermaient de petits cristaux de la zoïzite en question : mais l'un de ces échan-

Digitized by Google

tillons, un micaschiste de Bobbio, en contenait une telle quantité que la séparation et l'analyse devenaient possibles. Cette roche de Bobbio est un micaschiste blanc verdâtre à mica blanc et trémolite, avec lits irréguliers d'albite. La zoïzite en question y est très inégalement répartie : le plus souvent, elle se trouve dans les zones micacées et amphiboliques, et elle y forme des sortes de nids, chacun de ces nids étant constitué par un agrégat de cristaux diversement orientés. Çà et là, parmi les grains de la *zoïzite sans dispersion*, se glisse un grain de zoïzite classique. Il y a aussi des cristaux de *zoïzite sans dispersion* qui renferment de petites inclusions de zoïzite classique. Mais la proportion de la zoïzite classique à l'autre zoïzite ne dépasse certainement pas quelques centièmes.

Le minéral a été séparé, après pulvérisation de la roche, par une série de lavages à l'iodure de méthylène pur. Dans cette liqueur il tombe au fond, très lentement, tandis que les autres minéraux de la roche, sauf quelques grains de fer oxydulé, flottent à la surface. Les grains de fer oxydulé ayant été enlevés avec un petit aimant, il est resté une poudre cristalline, d'un jaune très pâle, montrant sous le microscope une homogénéité parfaite. Cette poudre est formée du minéral en question et de quelques centièmes de zoïzite classique.

La densité est d'à peu près 3,36. L'éclat est vitreux, assez vif sur les petites faces cristallines. Les plus gros cristaux ont un millimètre de longueur. L'analyse chimique a donné les résultats suivants (colonne de gauche) ; dans la colonne de droite j'inscris, d'après Ludwig, la composition du mélange théorique

$$Z^3E\ (Z = H^2Ca^4Al^6Si^6O^{26}\ ;\ E = H^2Ca^4Fe^6Si^6O^{26})\ :$$

Digitized by Google

	Zoïzite de Bobbio	Zoïzite théorique Z^9E
SiO^2	39,45	38,92
Al^2O^3	30,15	30,49
Fe^2O^3	4,60	4,44
CaO	23,29	24,21
MgO	0,90	»
K^2O	0,53	»
Na^2O	0,31	»
H^2O	0,82	1,94
TOTAL	100,05	100,00

La concordance est à peu près parfaite, si l'on admet que, dans le mélange théorique Z^9E, on peut, dans une faible mesure, substituer MgO à CaO, d'une part, et, d'autre part, substituer K^2O et Na^2O à H^2O.

Le minéral de Bobbio, qui est d'ailleurs identique à celui des schistes de la Vanoise, est donc bien une zoïzite, qui ne diffère de la zoïzite classique que par ses propriétés optiques. Nous désignerons désormais cette variété sous le nom de zoïzite β.

PROPRIÉTÉS OPTIQUES DE LA ZOÏZITE β.

Les cristaux de zoïzite β sont allongés parallèlement à l'axe moyen n_m de l'ellipsoïde de polarisation. Suivant la direction de plan perpendiculaire à cet allongement, c'est-à-dire suivant la direction du plan des axes optiques, il y a fréquemment des cassures irrégulières. En outre, certaines sections, celles qui sont normales, ou à peu près normales, à la bissectrice n_g, montrent un clivage facile, parallèle à l'allongement et décelé par de fines cassures. Ce plan de clivage facile est sensiblement normal à la bissectrice n_p.

Digitized by Google

Par analogie avec la zoïzite classique, nous prendrons pour plan p (001) le plan normal à l'allongement (ou normal à n_m), pour plan g^1 (010), le plan de clivage facile (normal à n_p), enfin pour plan h^1 (100) le plan normal à n_g. Ces conventions supposent que la zoïzite β est orthorhombique comme la zoïzite classique. Nous verrons plus tard que ce n'est là, aussi bien pour la zoïzite classique que pour la zoïzite β, qu'une première approximation.

La zoïzite β est *positive*. Les axes optiques sont, pour toutes les couleurs, situés dans le plan p (001). Pour toutes les couleurs aussi, la bissectrice aiguë, n_g, coïncide très sensiblement avec la normale au plan h^1 (100). Mais l'angle des axes optiques est un peu variable suivant la couleur. Le nom de *zoïzite sans dispersion*, que j'avais proposé à titre provisoire, doit donc être rejeté.

Cette dispersion de la zoïzite β est toujours dans le sens $r > v$. Quand on observe, en lumière blanche convergente, avec nicols croisés, une section perpendiculaire à n_g, on voit une hyperbole noire assez nette dont la concavité est bleuâtre et dont la convexité est faiblement teintée de jaune. La différence entre l'angle vrai des axes optiques, 2V, pour le bleu et pour le jaune, est, au maximum, d'une dizaine de degrés. Cette dispersion des axes optiques est d'ailleurs variable. Elle est beaucoup moins grande dans les cristaux de la Vanoise que dans ceux de Bobbio.

L'angle 2V moyen varie lui-même. J'ai dit qu'il était, dans les cristaux de la Vanoise, voisin de 60° : de nouvelles mesures faites sur ces mêmes cristaux me font craindre que ma première évaluation ne soit un peu exagérée. C'est plutôt de 40 à 50° que semble varier l'angle moyen, 2V, des cristaux de la Vanoise. Dans les cristaux de Bobbio, l'angle 2V est presque toujours notablement plus petit. Certaines sections paraissent de prime abord uniaxes : en réalité,

Digitized by Google

l'angle 2V correspondant est d'une douzaine de degrés. D'autres cristaux montrent un angle 2V de 35 à 40°.

On peut donc admettre que 2V (moyen) varie de 12 à 40° dans les cristaux de Bobbio, de 40 à 50°, ou peut-être à 60° dans les cristaux de la Vanoise.

La détermination des indices présente de grandes difficultés en raison de l'extrême petitesse des cristaux (un millimètre au maximum). M. Wallerant a bien voulu tenter lui-même cette détermination, sur une préparation de la roche de Bobbio, en se servant de l'ingénieux appareil à réflexion totale qu'il a décrit ici même, l'année dernière. Voici les moyennes de diverses mesures faites par notre savant confrère :

$$n_g = 1{,}7034$$
$$n_p = n_m = 1{,}6961.$$

M. Wallerant estime lui-même que l'on ne peut être sûr de l'exactitude de la troisième décimale, la surface des cristaux de zoïzite β étant, pour une cause que nous connaissons mal, assez peu réfléchissante. Les indices mesurés sont d'ailleurs ceux qui correspondent à la région moyenne du spectre. Le diasporamètre dont est muni l'appareil Wallerant permet de constater une dispersion très sensible.

Les indices qu'on vient de lire sont les mêmes que ceux de la zoïzite classique. On observe d'ailleurs directement que, quand la zoïzite β contient, ce qui arrive assez souvent, de petits grains de zoïzite classique, il n'y a aucune réflexion totale appréciable au passage de la lumière d'un minéral dans l'autre.

La biréfringence, déduite des mesures de M. Wallerant, serait :

$$n_g - n_p = 0{,}0073$$

Digitized by Google

avec une incertitude pouvant aller à une unité de la troisième décimale. La biréfringence évaluée directement au comparateur paraît varier de 0,007 à 0,009. Dans les cristaux de Bobbio où l'angle moyen des axes optiques est d'environ 40°, on a sensiblement

$$n_g - n_m = 0{,}006$$
$$n_m - n_p = 0{,}003,$$

d'où

$$n_g - n_p = 0{,}009.$$

Mais les cristaux presque uniaxes ont une biréfringence notablement plus faible et qui ne dépasse pas 0,007 (1).

Dans les plaques de deux à trois centièmes de millimètre d'épaisseur, les cristaux de zoïzite β prennent (lumière parallèle et nicols croisés) les teintes franches de l'échelle de Newton. Ils s'éteignent, sauf le cas de mâcles, d'une façon complète et simultanée.

Les mâcles sont rares. Ce sont des accolements suivant des plans obliques à l'axe des prismes, probablement suivant des dômes. La notation de ces plans n'a pu être calculée.

Quand un cristal de zoïzite β renferme une inclusion de zoïzite classique, le contour des deux minéraux n'a rien de géométrique.

PROPRIÉTÉS OPTIQUES DE LA ZOÏZITE CLASSIQUE,

C'est Des Cloizeaux (2) qui a fait connaître les propriétés optiques de la zoïzite classique : double réfraction faible;

(1) C'est ici le lieu de rappeler l'observation, déjà rapportée plus haut, de M. Franchi : deux régions, de biréfringences différentes, sur le même cristal de zoïzite β, séparées par une sorte d'hyperbole dont l'axe imaginaire est parallèle à l'allongement du cristal.

(2) Des Cloizeaux, *Manuel de Minéralogie*, t. I, p. 238-242.

Digitized by Google

axes optiques dans le plan g^1 (010) ; bissectrice aiguë *positive* normale à h^1 (100) ; dispersion très forte avec couleurs très étalées et $r < v$, l'angle des axes dans l'air (2E) variant, par exemple, de 42 à 70° du rouge au bleu.

Dans le *Supplément* (1) au tome I de son *Manuel de Minéralogie*, Des Cloizeaux a signalé les anomalies présentées par certains cristaux de zoïzite. Les axes optiques sont parfois situés dans le plan p (001), et la dispersion change alors de sens et devient $r > v$. Certains échantillons très vitreux de la Sau Alpe, en Carinthie, offrent des plages à écartements d'axes variables : les axes bleus y sont, en quelques points, séparés dans un plan parallèle à g^1, et les axes rouges presque réunis, tandis qu'en d'autres points (2) les axes verts sont réunis et les axes rouges écartés dans un plan normal à g^1. Des Cloizeaux a, de plus, constaté que, dans ces échantillons de la Sau Alpe, une augmentation de température rapproche fortement les axes orientés parallèlement à g^1 et écarte fortement ceux qui lui sont perpendiculaires.

Depuis les travaux de Des Cloizeaux, et en dehors des mesures d'indices de réfraction et de biréfringence effectuées par MM. Michel-Lévy et Lacroix (3), les seules recherches originales où l'on se soit proposé de nous faire mieux connaître les propriétés optiques de la zoïzite sont celles de MM. G. Tschermak et L. Sipöcz (4).

(1) Page XXXI.

(2) Au tome I de sa *Minéralogie de la France*, article *Zoïzite*, p. 129, M. Lacroix me paraît être dans l'erreur quand il fait dire à Des Cloizeaux que les axes rouges des cristaux de la Sau Alpe sont dans le plan p, et les axes bleus dans le plan g^1. Des Cloizeaux n'a pas dit cela. En un point donné d'un cristal de la Sau Alpe, c'est un seul et même plan, p ou g^1, qui contient les axes optiques de toutes les couleurs. Mais il y a, dans un même cristal, des régions où c'est le plan p, et d'autres où c'est le plan g^1.

(3) Michel-Lévy et Lacroix, *les Minéraux des roches*, p. 182.

(4) G. Tschermak et L. Sipöcz, *Beiträgezur Kenntniss des Zoizits*, Sitzb. der K. Akad. der Wissensch., LXXXII Bd., I. Abth. Juli-Heft, 1880.

Digitized by Google

Ces savants ont constaté que les cristaux de Ducktown, Tennessee, présentent des anomalies optiques analogues à celles que Des Cloizeaux a décrites dans la zoïzite de la Sau Alpe. La bissectrice positive (n_g) coïncide toujours avec l'axe a, c'est-à-dire avec la normale au plan h^1 (100) : le plan des axes optiques est parallèle tantôt au plan g^1 (010), tantôt au plan p (001). Toutefois MM. Tschermak et Sipöcz ne disent point que le changement du plan des axes optiques soit accompagné d'un changement dans le sens de la dispersion. Il semble même résulter de leurs explications qu'ils ont trouvé partout, comme sens de la dispersion dans la zoïzite de Ducktown, $r > v$; ils ajoutent, ce qui est formellement contraire aux observations de Des Cloizeaux, qu'il en est de même (c'est-à-dire que l'on a toujours $r > v$) dans les zoïzites des Alpes, et notamment dans la zoïzite de la Sau Alpe.

Ainsi, pour MM. Tschermak et Sipöcz, les anomalies optiques de la zoïzite de Ducktown seraient simplement dues au groupement de portions diversement orientées d'un seul et même minéral, lequel aurait la dispersion $r > v$. La loi du groupement serait d'ailleurs des plus simples : rotation de 90° autour de l'axe a, ou, ce qui revient au même, mâcle suivant un dôme incliné à 45° sur la base du prisme et coïncidant sensiblement avec le dôme (031). L'étude des plaques de zoïzite de Ducktown taillées parallèlement à la base p (001) montre, de plus, que l'accolement des régions diversement orientées se fait suivant d'autres directions de plans que celle du plan de mâcle. MM. Tschermak et Sipöcz indiquent comme faces d'accolement possibles les faces m (110) et l (140) de la zone verticale.

M. Lacroix (1) a signalé, dans la zoïzite du Pontaut d'Aleu

(1) Lacroix, *Minéralogie de la France et de ses colonies*, t. I, p. 129.

Digitized by Google

(Ariège), des groupements analogues, avec g^1(010) comme face d'accolement.

Après avoir relu les descriptions de Des Cloizeaux et celles de MM. Tschermak et Sipöcz, j'ai cru devoir refaire, d'une façon complète, l'étude des propriétés optiques de la zoïzite classique.

Une question se posait en effet : y a-t-il, comme le dit Des Cloizeaux, deux variétés de zoïzite, différant l'une de l'autre par le sens de la dispersion et par l'orientation du plan des axes optiques, et, s'il en est ainsi, l'une de ces variétés, celle où l'on a $r > v$, n'est-elle pas identique à ma *zoïzite* β ? Ou bien, comme le prétendent MM. Tschermak et Sipöcz, n'y a-t-il, dans la zoïzite classique, qu'un seul et même minéral, susceptible seulement de deux orientations différentes par rotation de 90° autour de l'axe *a* ?

Zoïzite de Ducktown. — J'ai examiné tout d'abord la zoïzite de Ducktown (Tennessee), celle même qui a fait l'objet des recherches de MM. Tschermak et Sipöcz, et j'ai constaté que les groupements intimes dont ont parlé ces savants mettent en présence, non pas, comme ils le disent, des portions diversement orientées d'un seul et même minéral, mais *deux variétés profondément distinctes de zoïzite.*

Les plaques taillées parallèlement à h^1(100), sous une épaisseur de trois à quatre centièmes de millimètre, montrent, entre les nicols croisés, en lumière parallèle, des régions d'un bleu clair, très prédominantes, et des régions moins étendues, d'un gris jaunâtre. Certaines préparations ne montrent que des régions bleues.

Les régions bleues sont d'ailleurs zonées, parallèlement à la trace du clivage g^1(010), et présentent une alternance de bandes d'un bleu plus ou moins clair. L'extinction n'est pas franche. Au moment où la teinte bleue disparaît, la région tout entière prend une teinte d'un gris jaunâtre.

Digitized by Google

L'extinction du bleu correspond sensiblement à l'instant où la trace du clivage g^1 (010) est parallèle ou normale à la vibration du polariseur. Les bandes parallèles à la trace de g^1 (010), et d'un bleu plus ou moins clair, sont parfois excessivement étroites et simulent des mâcles répétées.

En lumière convergente, les régions bleues donnent, quelque soit le point visé, une image d'interférence parfaitement nette, mais qui n'est pas très bien centrée. La normale à h^1 (100) coïncide, à ce léger décentrage près, avec la bissectrice positive n_g, qui est aussi la bissectrice aiguë. L'angle 2V (moyen) est un peu variable, plus grand naturellement dans les bandes bleu clair que dans les bandes bleu foncé. Il est généralement compris entre 40 et 60°, plus souvent entre 50 et 60°. L'hyperbole est très marquée, bleue à l'intérieur, orangée dans sa concavité. Le sens de la dispersion est donc $r < v$, contrairement à l'assertion de MM. Tschermak et Sipöcz. Les axes optiques sont sensiblement situés, pour toutes les couleurs, dans le plan de clivage facile g^1 (010). La différence de 2V bleu à 2V orangé peut atteindre une vingtaine de degrés. Les axes rouges et les axes verts sont à peu près confondus, dans une position intermédiaire entre celles des axes orangés et des axes bleus. On s'explique ainsi les apparences présentées en lumière parallèle. En un mot, les régions bleues sont formées de zoïzite ordinaire, je veux dire par là la première zoïzite décrite par Des Cloizeaux.

Les régions d'un gris jaunâtre (en lumière parallèle) sont séparées des régions bleues, le plus souvent par des lignes parallèles à la trace du clivage g^1 (010), quelquefois aussi par des lignes irrégulières. L'extinction de ces régions est à peu près franche et se fait à peu près parallèlement à cette trace de clivage.

En lumière convergente, les régions d'un gris jaunâtre

Digitized by Google

donnent, quelque soit le point visé, une image nette de bissectrice aiguë positive, presque toujours un peu décentrée. L'angle 2V (moyen) est analogue à celui des régions bleues (40 à 60°). Mais le sens de la dispersion est inverse : $r > v$. C'est sans doute sur une région semblable qu'a été faite l'observation de MM. Tschermak et Sipöcz. Les axes optiques sont sensiblement situés, pour toutes les couleurs, dans le plan p (001).

Il y a donc, dans les cristaux de Ducktown, deux variétés de zoïzite à sens de dispersion inverses. Toutes deux ont sensiblement pour n_g la normale à h^1 (100), mais cette coïncidence n'est pas rigoureuse. Toutes deux sont positives, avec un angle moyen 2V variable de 40 à 60°. Dans la variété $r < v$, les axes optiques sont sensiblement dans g^1 (010) ; dans la variété $r > v$, les axes optiques sont sensiblement dans p (001).

Les plaques taillées parallèlement au clivage facile g^1 (010) montrent, en lumière parallèle (nicols croisés), deux sortes de régions qui diffèrent par la biréfringence. La démarcation de ces régions est quelquefois parallèle à la trace de h^1 (100), c'est-à-dire à l'allongement de la section, quelquefois aussi tout à fait imprécise. Les régions les plus biréfringentes ont leur n_m normal au plan de la plaque : elles correspondent donc aux régions bleues de tout à l'heure. Les régions les moins biréfringentes ont leur n_p normal au plan de la plaque ; elles correspondent à la deuxième variété. L'extinction est franche, parallèlement à l'allongement. Les teintes de polarisation sont très sensiblement celles de l'échelle de Newton.

Les plaques taillées parallèlement à p (001) sont aussi fort intéressantes. En lumière parallèle (nicols croisés), sous une épaisseur de quatre centièmes de millimètre, elles montrent deux sortes de régions, de biréfringence inégale.

Digitized by Google

Les régions qui prédominent sont blanches, avec une teinte verdâtre qui s'accuse çà et là par facules : ces régions montrent n_p en lumière convergente, et leurs axes optiques sont dans g^1 (010). Les autres régions ont une biréfringence plus élevée (teinte rougeâtre) : elles sont coupées normalement à n_m par le plan de la plaque. Ces deux systèmes de régions correspondent donc bien aux deux variétés de zoïzite dont les plaques h^1 (100) nous ont montré l'existence.

Si, au lieu de croiser les nicols, on fait coïncider leurs vibrations, les régions de première espèce se teintent en rose, les régions de deuxième espèce en bleu, et l'on peut alors étudier plus commodément leurs rapports.

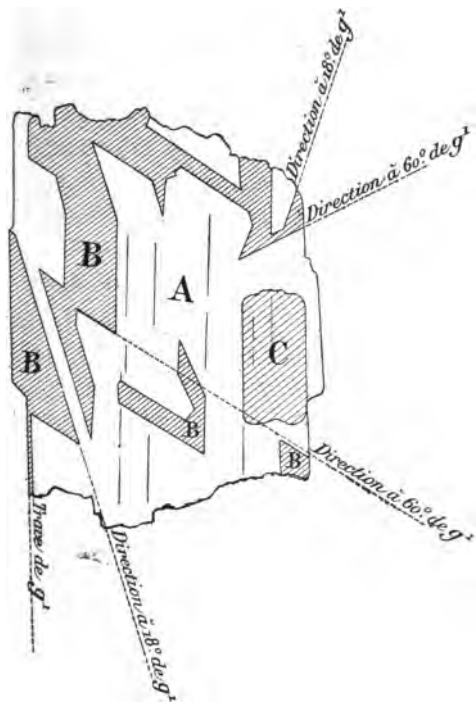
Les lignes qui séparent les régions sont quelquefois irrégulières. Le plus souvent, ce sont des lignes droites, qui appartiennent à trois systèmes différents : 1° la trace de g^1 (010) ; 2° deux lignes symétriques faisant avec cette trace de g^1 un angle d'environ 18° ; 3° deux autres lignes symétriques faisant avec cette même trace de g^1 un angle d'environ 60°. On retrouve ici l'observation de MM. Tschermak et Sipöcz : des bandes sensiblement parallèles aux traces des plans m (110) et l (140). L'angle mg^1 est, en effet, voisin de 60° (58° 13′), et l'angle lg^1 est de 21° 58′, c'est-à-dire assez voisin de l'angle de 18° que j'ai moi-même observé.

Le croquis ci-après représente, un peu schématiquement, une plaque p (001) de zoïzite de Ducktown vue en lumière parallèle *avec nicols parallèles*. Les régions A sont de première espèce : teinte rose ; axes optiques dans g^1 (010). Les régions B sont de deuxième espèce : teinte bleue ; axes optiques dans p (001).

Dans certaines préparations, taillées parallèlement à p (001), on observe une troisième sorte de région (C de la figure ci-après). Cette région C est entourée de toutes parts par une région A : la biréfringence de C est la même que celle de B,

Digitized by Google

et, de même que B, C est coupée par la plaque normalement à n_n. La seule différence entre B et C est une différence d'orientation : l'une des deux régions a, par rapport à l'autre, tourné de 90° autour de n_n. En sorte que n_g, parallèle au



clivage g^1 dans la région B, est normale à ce même clivage dans la région C. La séparation entre A et C est formée de deux plans g^1(010) et de deux surfaces irrégulières qui, toutefois, s'écartent peu du plan h^1(100).

Si l'on examine la limite d'une région A et d'une région B, on voit que la surface de séparation n'est que rarement nor-

Digitized by Google

male au plan de la lame. Elle est formée soit d'un plan oblique à la lame, soit d'une série de gradins constituant un escalier droit.

Entre la région où la teinte rose est parfaitement pure et celle où la teinte bleue est elle-même très franche, il y a une zone intermédiaire, comprise entre deux lignes parallèles et dont la teinte est un mélange gradué de rose et de bleu. Les deux variétés de zoïzite qui se mélangent dans les cristaux de Ducktown sont donc accolées suivant des plans obliques à l'axe du prisme, ou suivant des surfaces en escalier, ces plans obliques ou ces escaliers coupant d'ailleurs la base p (001) suivant les lignes que nous avons définies plus haut.

Ce qui a sans doute trompé MM. Tschermak et Sipöcz, c'est la trop grande épaisseur de leurs préparations parallèles à la face h^1 (100). Ils disent, en effet, que ces préparations ont été examinées à l'appareil de Norremberg et qu'elles montrent, dans cet appareil, une figure plus ou moins troublée. Évidemment, ce trouble était dû à une superposition des images fournies par les deux variétés de zoïzite. MM. Tschermak et Sipöcz ont cru qu'il s'agissait d'un simple groupement par mâcles : ils n'ont pas vu qu'il y avait deux minéraux en présence, caractérisés par des sens inverses de dispersion. Partout où ils ont observé des figures assez nettes, ils ont trouvé $r > v$; mais j'ai peine à croire qu'ils aient fait un grand nombre d'observations, car ils auraient immanquablement constaté, *dans la plupart des cas*, $r < v$. Je m'étonne seulement que ces savants aient accepté si facilement un résultat aussi évidemment en désaccord avec les descriptions de Des Cloizeaux.

Zoïzite de Conway (*Massachussetts*). — Les plaques taillées parallèlement à h^1 (100) dans la zoïzite de Conway montrent (lumière parallèle, nicols croisés, épaisseur de

Digitized by Google

trois centièmes de millimètre) une série de bandes parallèles à la trace du clivage g^1 (010), à bords un peu irréguliers et comme frangés, les unes (de beaucoup les plus larges) d'un bleu plus ou moins sombre, les autres d'un gris sale, un peu jaunâtre. En outre, il y a des veinules irrégulières, grossièrement normales au clivage g^1, formées de la même substance que les bandes grises. Les bandes bleues se partagent elles-mêmes en bandes secondaires, les unes d'un bleu plus clair, les autres d'un bleu plus sombre. L'extinction est, presque toujours, parfaite et simultanée pour toutes les bandes : elle se fait parallèlement à la trace du clivage. Quelquefois les bandes gris jaunâtre ne s'éteignent pas complètement.

En lumière convergente, on voit, dans toutes les bandes, une bissectrice aiguë positive sensiblement normale à la lame.

Dans les bandes bleues, les axes optiques sont, pour toutes les couleurs, dans le plan g^1 (010), ou à peu près dans ce plan. Dans les bandes grises ils sont dans le plan perpendiculaire, c'est-à-dire dans p (001).

Les bandes bleues montrent une dispersion intense $r < v$, avec un angle moyen 2V très variable, de 20° (pour les bandes d'un bleu très sombre) à 40° (pour les bandes bleu clair). Il y a de 15 à 20° de différence entre 2V bleu et 2V jaune (1). Les axes rouges et les axes verts sont dans une position intermédiaire et sensiblement confondus.

Les bandes d'un gris jaunâtre sale montrent une dispersion moins intense, mais encore très nette, $r > v$. L'angle moyen 2V y varie, dans le même échantillon, de 10 à 40°. La différence entre 2V bleu et 2V jaune n'y dépasse pas 10° : les

(1) Certaines bandes sont sensiblement uniaxes pour la lumière du sodium

Digitized by Google

axes rouges et les axes verts sont, là aussi, dans une position intermédiaire et sensiblement confondus.

Les plaques taillées parallèlement à $p(001)$ ont (lumière parallèle, nicols croisés) une extinction franche et simultanée parallèlement à la trace du clivage $g^1(010)$. Elles présentent une alternance de bandes parallèles à cette même trace et inégalement biréfringentes. Les régions les plus biréfringentes sont coupées normalement à n_m; les autres, normalement à n_p. La biréfringence des premières, évaluée par comparaison avec le quartz, est comprise entre 0,006 et 0,007. Les bandes coupées normalement à n_p sont, de beaucoup, les plus larges. Les autres bandes (les plus biréfringentes) sont souvent interrompues, transversalement, par des plans parallèles à $h^1(100)$.

Les cristaux de Conway sont donc formés du mélange des deux mêmes variétés que nous avons signalées dans les cristaux de Ducktown. Mais ici la variété $r < v$ est de beaucoup prépondérante. De plus, l'accolement des deux variétés se fait suivant une loi plus simple : le plus souvent par un plan $g^{(1)}(010)$, plus rarement par un plan h^1 (100) ou par une surface irrégulière qui s'écarte peu de ce plan.

Les plaques taillées parallèlement à $g^1(010)$ sont presque toujours parfaitement homogènes

Zoïzite de Clay Co (*North Carolina*). — Ces cristaux offrent les mêmes phénomènes que ceux de Conway.

Dans les plaques $h^1(100)$ on voit (lumière parallèle, nicols croisés) une teinte générale d'un bleu foncé, avec des bandes bleues inégalement claires, parallèles au clivage, et des bandes irrégulières, de même direction, ayant une teinte jaune sale. L'extinction est presque toujours simultanée et parfaite.

Sur tous les points, en lumière convergente, on voit n_g, bissectrice aiguë, à peu près au centre de l'image.

Digitized by Google

Dans les régions bleues, $r < v$; le plan des axes optiques est g^1 (010); l'angle 2V moyen varie de 20 à 40° (axes rouges et axes verts); l'angle 2V jaune est quelquefois presque nul; il peut atteindre exceptionnellement 35°. L'angle 2V bleu peut aller à 60°.

Les régions à teinte jaune sale ont leurs axes optiques dans p (001); $r > v$; 2V jaune varie de 50 à 60°; 2V bleu de 30 à 50°.

La séparation des deux variétés de zoïzite est faite par des plans g^1(010) ou par des surfaces irrégulières qui diffèrent peu du plan h^1(100).

Zoïzite de Rauris. — Les plaques h^1 (100) prennent, entre les nicols croisés, une teinte d'un bleu violacé clair. On y voit des bandes d'un bleu sombre, parallèles au clivage. Partout, en lumière convergente, on voit n_g, bissectrice aiguë, sensiblement normale à la plaque. Les axes optiques sont dans g^1 (010). La dispersion est très grande : $r < v$. Généralement, l'angle 2V est grand : 60° pour le jaune, 70° pour le bleu. Les bandes sombres sont presque uniaxes pour le jaune.

Je n'ai pas observé dans ces cristaux la deuxième variété de zoïzite, celle où l'on a $r > v$. Les plaques g^1(010) sont homogènes.

Autres zoïzites des Alpes. — Les autres zoïzites des Alpes (1), sauf celle de la Sau Alpe, m'ont paru homogènes comme la zoïzite de Rauris. Les plaques h^1, ou voisines de h^1, ont, entre les nicols croisés, des teintes bleues ou bleu violacé. Le plus souvent, ces plaques s'éteignent bien ; quelquefois, cependant, au moment où la couleur bleue disparaît, on voit apparaître une teinte jaune sale. La dispersion est toujours $r < v$. L'angle des axes est très variable,

(1) Je ne parle pas ici des zoïzites β, mais seulement des zoïzites classiques.

Digitized by Google

même dans le même échantillon, à plus forte raison dans le même gisement. Les plaques qui font avec h^1 un angle assez grand prennent, entre les nicols croisés, des teintes franches, je veux dire des teintes appartenant à l'échelle de Newton : elles s'éteignent d'une façon parfaite et rigoureuse.

La zoïzite de la Sau Alpe est formée, comme l'a indiqué Des Cloizeaux, du mélange de deux variétés de zoïzite : l'une, à dispersion $r < v$, qui est très prédominante ; l'autre, à dispersion $r > v$. La disposition est analogue à celle que j'ai décrite pour la zoïzite de Conway. Les plaques h^1 montrent, entre les nicols croisés, une alternance de larges bandes bleues et de minces bandes d'un gris jaune sale.

Zoïzite de Gefrees. — Les cristaux de Gefrees renferment aussi les deux variétés. Celle qui prédomine est, comme toujours, celle où l'on a $r < v$ et où les axes optiques sont dans g^1 (010).

Les plaques g^1 (010) ne sont pas absolument homogènes, ce qui prouve que l'accolement des deux variétés ne se fait pas toujours suivant des plans g^1. La complexité de ces plaques apparaît bien quand on les observe entre des nicols parallèles. On y voit des régions coupées normalement à n_p (très prépondérantes), et d'autres coupées normalement à n_m : elles sont séparées les unes des autres par des lignes grossièrement parallèles à la trace de h^1 (100).

Certaines plaques g^1 montrent aussi des régions, bleues entre les nicols croisés, coupées normalement à n_g, et qui résultent d'un mode de mâclage analogue à celui que j'ai signalé plus haut dans les cristaux de Ducktown. Il s'agit ici de deux portions de zoïzite ($r < v$) ayant même axe n_p, et dont l'une a, par rapport à l'autre, tourné de 90° autour de cet axe. Or, dans l'espèce de zoïzite en question, n_p est l'axe vertical, l'axe même du prisme.

Dans la mâcle de Ducktown signalée plus haut, il s'agis-

Digitized by Google

sait de deux portions de zoïzite ($r > v$) ayant même axe n_m, et dont l'une avait, par rapport à l'autre, tourné de 90° autour de cet axe. Dans cette deuxième espèce de zoïzite, n_m est l'axe vertical, l'axe même du prisme.

On voit donc que, dans les deux variétés de zoïzite, l'axe vertical, qui est soit n_p, soit n_m, est un axe pseudo-quaternaire.

RÉSUMÉ ET CONCLUSIONS.

Si l'on compare les propriétés optiques de la zoïzite β à celles de la deuxième variété de zoïzite, signalée pour la première fois à la Sau Alpe par des Cloizeaux, et mélangée à la zoïzite ordinaire à Ducktown, Conway, Clay Co, Gefrees, on constate qu'il n'y a entre elles aucune différence essentielle.

Quand la deuxième variété de zoïzite se mélange à la zoïzite ordinaire, on ne voit, à la surface de séparation, en lumière naturelle, aucune réflexion totale manifestant une différence appréciable de réfringence.

Il en est de même, nous l'avons vu, quand la zoïzite β contient des inclusions de zoïzite ordinaire.

La zoïzite β et la deuxième variété de zoïzite classique ont donc très sensiblement les mêmes indices.

Dans la zoïzite β, comme dans la deuxième variété de zoïzite classique, on a une dispersion $r > v$, variable d'ailleurs d'intensité suivant le gisement.

Dans l'une comme dans l'autre, les axes optiques sont, pour toutes les couleurs, dans le plan de base du prisme. Dans l'une comme dans l'autre, le signe est positif, et la bissectrice n_g est perpendiculaire à la face h^1 (100). L'angle

Digitized by Google

2V est d'ailleurs variable, mais les limites entre lesquelles il oscille sont sensiblement les mêmes (10 et 60°).

Je tiens donc pour démontré qu'il y a deux espèces de zoïzite. Nous les connaissons aujourd'hui, et à l'état isolé, et à l'état de mélange.

J'appelle *zoïzite* α la première zoïzite décrite par Des Cloizeaux, celle que connaissent tous les pétrographes et qui est isolée dans beaucoup de cristaux classiques, notamment dans la plupart des cristaux des Alpes. Cette zoïzite est caractérisée par une énorme dispersion $r < v$. Ses axes optiques sont, pour toutes les couleurs, sensiblement situés dans le plan g^1 (010). Elle est positive ; n_g est à peu près normale à h^1 (100).

Les sections h^1, ou voisines de h^1, sont bleues entre les nicols croisés ; les sections qui font avec h^1 un angle supérieur à 20 ou 30° ont des teintes de polarisation franches. L'extinction est généralement parfaite et simultanée ; elle est quelquefois imparfaite dans les sections voisines de h^1. L'angle 2V jaune varie de 0 à 35° ; l'angle 2V bleu varie de 15 à 60°. Les axes verts et les axes rouges occupent une position intermédiaire et sont sensiblement confondus.

J'ai défini plus haut la *zoïzite* β. Elle est isolée dans les schistes métamorphiques de la Vanoise et des Alpes Cottiennes. Elle se mélange à la zoïzite α dans certains cristaux classiques (Ducktown, Conway, Clay Co, Gefrees, Sau Alpe) ; mais, dans ces mélanges, elle cède toujours le pas à la zoïzite α. Elle est caractérisée par une dispersion $r > v$ généralement beaucoup moins grande que la dispersion de sens contraire de la zoïzite α. Ses axes optiques sont, pour toutes les couleurs, sensiblement situés dans le plan p (001). Elle est positive ; n_g est à peu près normale à h^1 (100). Toutes les sections prennent, entre les nicols croisés, des teintes franches, sauf toutefois certaines sections h^1, ou

Digitized by Google

voisines de h^1, des zoïzites américaines (teintes gris jaunâtre sale). L'extinction est presque toujours parfaite.

Quand la zoïzite α et la zoïzite β se mélangent dans un même échantillon, elles ont mêmes plans cristallographiques et même n_g. Elles s'accolent le plus souvent suivant g^1 (010), quelquefois aussi suivant h^1(100), quelquefois aussi suivant des plans obliques à l'axe du prisme, ou suivant des escaliers, quelquefois enfin suivant des surfaces irrégulières. A Ducktown les plans obliques à l'axe (ou les escaliers), qui servent de limite aux deux minéraux, coupent la base p (001) suivant des lignes appartenant à l'un des trois systèmes suivants : 1° la trace de g^1(010) ; 2° deux droites symétriques faisant avec cette trace des angles de 18° environ ; 3° deux autres droites symétriques faisant avec cette même trace des angles de 60° environ. Ce sont ces accolements géométriques qui ont été pris, par MM. Tschermak et Sipöcz, pour des mâcles d'un seul et même minéral.

Dans la zoïzite β comme dans la zoïzite α, l'axe vertical c, l'axe du prisme, est pseudo-quaternaire : il se produit, par rotation de 90° autour de cet axe, des groupements de cristaux échangeant leurs faces g^1 et h^1.

Ni la zoïzite β, ni la zoïzite α ne sont rigoureusement orthorhombiques. Dans l'une et dans l'autre, il n'y a presque jamais coïncidence absolue entre les trois axes de l'ellipsoïde de polarisation et les normales aux trois plans p (001), h^1(100) et g^1(010). Mais l'écart ne dépasse jamais 5°. Je tiens ces deux minéraux pour tricliniques, avec trois axes presque rectangulaires, dont deux sont pseudo-binaires (a et b), et l'autre, c, pseudo-quaternaire.

La variabilité assez grande de l'angle des axes, et le fait, signalé par Des Cloizeaux, que l'élévation de température diminue l'angle des axes de la zoïzite α et augmente l'angle des axes de la zoïzite β, peuvent laisser croire que l'on

Digitized by Google

trouvera un jour une zoïzite intermédiaire, ayant certains axes dans $p(001)$ et d'autres dans $g^1(010)$. Mais cette zoïzite est encore à découvrir. Une chose est, en tout cas, certaine : c'est qu'il y a, pour le silico-aluminate de chaux $H^2Ca^4Al^6Si^6O^{26}$, deux formes stables et simultanément stables, la forme α et la forme β, et que ces deux formes, cristallographiquement identiques, sont tout à fait distinctes quand on les envisage du point de vue des propriétés optiques.

Sur un chlorate basique de cuivre cristallisé

Par M. Léon Bourgeois.

On sait que la décomposition ménagée de l'azotate neutre de cuivre sous l'action de la chaleur engendre très aisément un azotate basique cristallisé, que j'ai démontré (1) être identique avec la gerhardtite, minéral trouvé aux États-Unis par MM. Brush, Penfield et Wells (2). Ce même azotate basique $4CuO.Az^2O^5 + 3H^2O$ prend naissance soit avec la forme orthorhombique de la gerhardtite, soit à l'état de variété dimorphe clinorhombique, dans des circonstances variées, toutes les fois que l'azotate neutre perd de l'acide azotique, ainsi que l'ont fait voir plusieurs chimistes, notamment MM. G. Rousseau (3), L. Michel (4), Atanasesco (5) et moi-même (6). Dans un autre

(1) *C. R.*, 1890, t. CX, p. 541.
(2) *Amer. Journ. of Science*, 1885, 3e série, t. XXX, p. 50.
(3) *C. R.*, 1890, t. CXI, p. 38.
(4) *Bull. Soc. chim.*, 1890, t. XIII, p. 139.
(5) *Bull. Sc. min.*, 1894, t. XI, p. 1112.
(6) *Loc. cit.*

Digitized by Google

ordre d'idées, les travaux de M. E. Mallard (1) ont appelé l'attention sur l'isomorphisme existant entre les nitrates et les chlorates, fait très important au point de vue chimique, puisqu'il contribue à montrer que le chlore dans l'acide chlorique doit être triatomique ou pentatomique. S'appuyant sur ces rapprochements, on pouvait se demander si le chlorate neutre de cuivre, sel dont la composition chimique et l'ensemble des propriétés cadrent singulièrement avec celles de l'azotate, ne fournirait pas, lui aussi, un sous-sel cristallisé correspondant de la gerhardtite. L'existence d'un chlorate basique de cuivre a été, dès 1843, signalée par Al. Waechter (2) comme provenant de la décomposition du chlorate de cuivre par l'action d'une chaleur modérée, et du travail d'ensemble de ce chimiste sur les chlorates métalliques il résulte que, seul parmi ceux-ci, le chlorate de cuivre subit un dédoublement comparable à celui de l'azotate. Waechter décrit le chlorate basique comme étant un corps vert, insoluble dans l'eau, très soluble dans les acides; mais il ne donne pas d'analyse et ne dit pas s'il offre des indices de cristallisation. La communication que nous avons l'honneur de présenter à la Société a pour objet de décider si le sel vert de Waechter correspond chimiquement et cristallographiquement à la gerhardtite et de faire voir qu'il s'engendre aussi facilement que celle-ci, dans des circonstances à peu près semblables.

Si l'on chauffe, en effet, dans une fiole, au bain de sable, des cristaux de chlorate de cuivre $(ClO^3)^2Cu + 6H^2O$, on les voit fondre vers 65° dans leur eau de cristallisation en donnant une liqueur bleue de consistance sirupeuse. La décomposition du sel commence déjà, très lente, vers 100°;

(1) *Bull. Soc. Min.*, 1886, t. VII, p. 349-401.
(2) *Journ. für prakt. Chem.*, 1843, t. XXX, p. 321; — *Journ. de Pharm.*, 1843, 3e série, t. V, p. 360.

Digitized by Google

elle est rapide, sans être cependant tumultueuse, de 110 à 140°. On voit alors la liqueur prendre une nuance bleu foncé un peu verdâtre, puis dégager de fines bulles de gaz (peroxyde de chlore, chlore et oxygène), en même temps qu'une crépitation continuelle se fait entendre. La plupart de ces phénomènes accompagnant la décomposition du chlorate qui ont été signalés par Waechter. Bientôt le sel basique se dépose et manifeste à l'œil nu une apparence cristalline. Lorsque la masse est devenue assez boueuse, par suite des dépôts des cristaux, on arrête l'opération; après refroidissement, on épuise par l'eau froide, qui se charge de chlorate neutre inaltéré; les cristaux sont jetés sur un filtre, lavés et séchés.

Si l'on avait chauffé de même au bain de sable, avec précaution mais un peu plus fort que pour le chlorate, des cristaux d'azotate de cuivre, on aurait eu, comme on sait, de la gerhardtite. La formation de celle-ci s'explique aisément : on remarquera que l'azotate de cuivre se dédouble nettement en gerhardtite et acide azotique $AzO^3H + 3/2\,H^2O$; les vapeurs de celui-ci se condensent sur les parois froides du vase, retombent sur les petites lamelles qui viennent de se former, les dissolvent en partie, et cette réaction réversible, se poursuivant sans cesse, permet aux cristaux de grossir. Il est moins aisé de se rendre compte de la production des cristaux de sous-chlorate de cuivre, car l'acide chlorique n'est pas volatil sans décomposition, et le sel prend naissance au cours d'une réaction qui, non seulement n'est plus réversible, mais paraît être légèrement explosive. D'autre part, nous avons constaté que le sous-chlorate de cuivre se dissout à chaud dans une liqueur très concentrée de chlorate neutre et, que cette solubilité, s'accroît avec la température et la concentration. Ainsi se trouvent réalisées, lors des mouvements continuels qui accompagnent la décomposition

Digitized by Google

du chlorate, les conditions permettant à la cristallisation du sel basique de s'opérer. Lorsqu'on reprend la masse par l'eau après refroidissement, on recueille toujours, en outre des cristaux déjà formés, un léger trouble vert bleuâtre, dû au dépôt du chlorate basique tout à fait microcristallin. La pression, elle aussi, fait varier la vitesse de décomposition du chlorate de cuivre ; si l'on opère dans le vide, la réaction devient tumultueuse et ne fournit que du produit amorphe (de même pour l'azotate) ; en tube scellé, elle paraît retardée, engendre néanmoins du chlore et de l'oxygène ; les dimensions des cristaux ne s'accroissent pas comme je pouvais l'espérer.

Le même sel prend encore naissance lorsqu'on chauffe en tube scellé, vers 130°, une solution de chlorate de cuivre avec des fragments de marbre ou encore avec de l'urée ; mais les cristaux obtenus sont moins volumineux que ceux fournis par le premier procédé.

Le chlorate basique de cuivre constitue de petites tables d'un très beau vert, atteignant le plus souvent quelques dixièmes de millimètre, parfois 1 à 2 millimètres ; leur densité est 3,55. Elles ressemblent, à première vue, à la gerhardtite, seulement les lames de celle-ci sont plus déchiquetées. Nous traiterons plus loin de leurs propriétés cristallographiques et optiques. La substance est insoluble dans l'eau, mais très soluble dans les acides, même les plus faibles et très étendus ; on peut reconnaître les réactions classiques des chlorates et s'assurer qu'il n'y a pas de chlore à l'état de chlorure. Par calcination, elle noircit, dégage de l'eau, du chlore et de l'oxygène et laisse un résidu d'oxyde nitrique, qui, contrairement à l'opinion de Waechter, n'est pas pur, mais retient encore du chlore à l'état d'oxychlorure cuivrique ou de chlorure cuivreux.

L'analyse a été faite en dissolvant le sel à froid dans

Digitized by Google

l'eau additionnée de la quantité juste suffisante d'acide azotique ; la liqueur étendue est alors saturée par une solution de chlorate de sodium qu'on cesse de verser aussitôt que tout le cuivre est précipité. On fait bouillir la liqueur pendant quelque temps, de manière à convertir le carbonate basique de cuivre en oxyde noir qu'on recueille sur un filtre et qu'on pèse. D'autre part, la liqueur filtrée est évaporée à sec, ce qui fournit un résidu de chlorate de sodium avec un peu d'azotate et de carbonate. On la calcine progressivement en allant jusqu'au rouge naissant ; tout le chlorate est alors transformé en chlorure. On reprend par l'eau, on acidule par l'acide azotique, et l'on dose le chlore par l'azotate d'argent. On arrive ainsi aux résultats suivants, pour 100 parties de matière, qui conduisent à une formule

$$4CuO.Cl^2O^5 + 3H^2O, \quad \text{ou} \quad (ClO^3)^2 Cu + 3Cu\,(OH)^2,$$

correspondant à celle de la gerhardtite :

	I	II	Calculé
Oxyde cuivrique	60,2	60,0	60,8
Anhydride chlorique (fictif)		28,4	28,8

Il y a lieu de rechercher maintenant si l'analyse chimique constatée entre notre produit et la gerhardtite se poursuit cristallographiquement. Un examen superficiel conduirait à répondre oui ; les cristaux de chlorate basique forment en effet des tables à contour hexagonal non régulier, qui pourraient résulter d'un prisme orthorhombique avec la base *p* prédominante et des facettes des zones ph^1 et *pm*. La biréfringence est forte, l'extinction en lumière polarisée parallèle se fait suivant les grands côtés h^1, et l'angle *mm* mesuré au microscope comme angle plan est voisin de 94° 30′ ; or la valeur de l'angle *mm* de la gerhardtite est 94° 50, il y aurait donc isomorphisme avec celle-ci. Une étude

Digitized by Google

plus attentive, particulièrement celle des propriétés en lumière polarisée convergente, va nous conduire à de tout autres conclusions. Le sens de l'allongement est positif et le plan des axes optiques est parallèle à la direction des lames (que nous appelions ph^1). La face d'aplatissement p est peu éloignée d'être normale à la bissectrice obtuse n_p et fait un petit angle avec l'axe moyen d'élasticité optique n_m ; la bissectrice aiguë n_g est couchée dans le plan de la lame parallèlement à son allongement. On peut expliquer ces faits en rapprochant notre chlorate basique, non plus de la gerhardtite, mais de l'azotate dimorphe de celle-ci, obtenu artificiellement par MM. Penfield et Wells (1), ainsi que par M. G. Rousseau (2). On a, en effet, dans ce dernier produit, qui est clinorhombique, pour l'angle des traces de mm mesuré sur la base p, la valeur 94° 50′, fortuitement égale à celle de l'angle dièdre mm dans l'espèce dimorphe et très voisine de celle de l'angle trouvé sur ces cristaux. D'autre part, ils portent des facettes dont les angles avec la grande face p ont pu, avec les plus gros échantillons, être mesurés au goniomètre, quoique les images soient assez défectueuses ; ces angles sont de 114° 22′ et 107° 5′. Or, dans l'espèce dimorphe de la gerhardtite, on calcule, d'après les données de MM. Penfield et Wells, qui, si les facettes $o^{\frac{1}{2}}$ et $b^{\frac{1}{4}}$ existaient, on aurait $po^{\frac{1}{2}} = 115° 50'$ et $pb^{\frac{1}{4}} = 106° 3'$, ces considérations conduisant à admettre que nos cristaux correspondent à la variété clinorhombique dimorphe de la gerhardtite et non à celle-ci, et qu'ils posséderaient les faces p, $o^{\frac{1}{2}}$ et $b^{\frac{1}{4}}$.

Le bromate neutre de cuivre (préparé par double décom-

(1) *Loc. cit.*
(2) *Loc. cit.*

Digitized by Google

position entre le bromate de baryum et le sulfate de cuivre), chauffé graduellement sous la pression ordinaire, comme on avait fait pour le chlorate, se décompose plus brusquement que celui-ci, en dégageant de l'oxygène et des vapeurs de brome ; le phénomène marche comme pour le chlorate ou l'azotate, lorsqu'on les chauffe dans le vide. On obtient un bromate basique en poudre bleu verdâtre très fine, dans laquelle la cristallinité ne peut être reconnue qu'avec de forts grossissements.

Revue des espèces minérales nouvelles.

Miersite. — On sait que l'iodure d'argent, hexagonal à la température ordinaire, devient cubique, lorsqu'on le chauffe à 146°. Cette transformation a été très bien étudiée par E. Mallard et M. Le Chatelier. La forme hexagonale de cette substance, l'iodyrite, existe dans la nature. La seconde forme y est inconnue. M. L.-J. Spencer en a constaté une autre sur des échantillons argentifères provenant de Broken Hill (Nouvelle-Galles du Sud). Les cristaux de miersite sont petits, leurs dimensions ne dépassent pas 2 millimètres de diamètre; ils possèdent une couleur jaune pâle et un éclat adamantin. Les formes observées sont seulement celles du cube, et une ou deux faces montrant l'hémiédrie tétraédrique. L'iodure d'argent est donc trimorphe. La miersite appartient à la série comprenant la nantokite Cu^2Cl^2, la marshite Cu^2I^2, la cuproiodargyrite ($AgCu, I^2$).

Ce nouveau minéral a été dédié à M. H.-A. Miers (L.-J. Spencer, *Nature*, 14 avril 1898, p. 574).

Clinohédrite. — Minéral monoclinique et hémiédrique (*domatische Klasse de Groth*) se présentant en petits cristaux dont les plus gros ont 4 millimètres de long et 2 à 3 millimètres de large.

Digitized by Google

Les cristaux sont souvent transparents et possèdent une couleur allant de l'améthyste au blanc.

La densité est 3,33 et la dureté 5,5. Le clivage est parfait suivant g^1 (010), mais il n'a pas été souvent observé.

Les formes observées sont : (010) (320) (110) (120) (130) (101) (111) ($\bar{3}31$) ($\bar{5}51$) ($\bar{7}71$) ($\bar{5}31$) ($\bar{1}31$) ($\bar{1}21$) et probablement ($\bar{1}61$).

$$a : b : c = 0,6826 : 1 : 0,3226$$

$\beta = ph^1 = 76^\circ\ 4'$. La mesure des angles $\overset{1}{b^2}$ $\overset{1}{b^2}$ (111) ($\bar{1}11$) a donné $29^\circ 8$, $m\overset{1}{b^2}$ (110) (111) $51^\circ 54'$ et mm $66^\circ 57'$.

Le minéral étant hémiédrique, le grand développement des faces dont les parallèles manquent donne au minéral une forme spéciale, d'où le nom de clinoédrite qui lui a été donné.

Une section parallèle à g^1 montre en lumière polarisée que l'extinction se fait à 28° de l'axe vertical dans l'angle obtus β. Cette direction correspond à l'axe moyen d'élasticité.

Le plan des axes optiques est perpendiculaire à g^1. La bissectrice obtuse n_g se confond avec l'axe cristallographique b. La double réfraction n'est pas très forte et est négative.

La clinohédrite est pyroélectrique.

L'analyse a donné les résultats suivants :

SiO^2 27,22 ; ZnO 37,44 ;
MnO 0,50 ; CaO 26,25 ; MgO 0,07 ;
H^2O 8,56 ; $(Fe,Al)^2O^3$ 0,28.

La formule $H^2CaZnSiO^5$ représente la composition du minéral ; elle est analogue à celle de la calamine $H^2Zn^2SiO^5$.

Le minéral est fusible au chalumeau (fusibilité 4). Dans le tube fermé il s'exfolie, blanchit et donne de l'eau au rouge.

La clinohédrite se trouve à Trotter mine (Franklin) (New-Jersey), associée à la willémite, la phlogopite, l'axinite, la datolite et à un autre nouveau minéral qui est un silicate de plomb, de fer et de calcium.

(S.-L. Penfield et H.-Foote, *Am. Journ. of. Sc.*, avril 1898, p. 289).

Digitized by Google

Senaïte. — Minéral noir, à éclat sub-métallique, opaque, mais transparent lorsqu'il est en lames très minces et alors de couleur brun verdâtre. Il cristallise dans le système rhomboédrique (trigonal rhomboedral de Groth). $a : c = 1 : 0,997$. Le minéral est très riche en faces, et les macles suivant d^1 sont fréquentes.

Les angles mesurés sont approximativement égaux à ceux qui ont été donnés par Lévy pour la mohsite.

	Senaïte (Hussak)	Mohsite (Lévy)
(0001) $\bar{2}021$	$= 66° 38' \frac{1}{2}$	67° 30′
— $10\bar{1}1$	$= 49° 4'$	50° 21′
— 4041	$= 77° 33 \frac{1}{2}$	78° 18′

La senaïte n'a pas de clivages, la cassure est conchoïdale, et la dureté 6. La densité est de 4,22 à 4,78.

Biréfringente ; sans polychroïsme ; uniaxe.

Infusible au chalumeau. Décomposée par HFl, et par l'acide sulfurique bouillant.

Deux analyses ont donné les résultats suivants :

	TiO^2	PbO	FeO	Fe^2O^3	MnO	MgO	SnO^2	Total
I	57,21	10,51	4,14	20,22	7	0,49	0,11	99,68
II	56,11	11,43		25,15	7,81			

La formule $(FePb)O.2(TiMn)O^2$, analogue à celle de l'ilménite $FeO.TiO^2$ représente la composition de la senaïte.

La senaïte se trouve en fragments arrondis dans le gisement des sables diamantifères de Diamantina (Minas Geraes, Brésil). Elle a été dédiée à M. da Costa Sena.

(E. Hussak et G.-T. Prior, *Min. Magaz.*, juin 1898, p. 30.)

Digitized by Google

Kalgoorlite. — Ce minéral, de couleur noir de fer se trouve dans des veines et des poches situées dans des dykes d'un porphyre schisteux quartzo feldspathique, associé aux autres tellurures de Kalgoorlie (Australie orientale).

L'analyse a donné les résultats suivants :

Au, 20,72 ; Ag, 30,98 ; Hg, 10,86 ; Cu, 0,05 ; S, 0,13 ; Te,

obtenu par différence, 37,26.

La formule $HgAu^2Ag^6Te^6$ représente à peu près la composition de ce minéral. Sa densité est 8.791.

(E.-F. Pittmann (*Record. Geol. Surv. N.-S. W.*, 1898, p. 203.)

Mossite. — La mossite a été rencontrée dans un filon de pegmatite, à Berg, dans le voisinage de Råde, près de Moss (Norwège), où elle est associée à l'yttrotantalite et à la columbite dans un filon de pegmatite.

Bien que les cristaux aient l'apparence d'un prisme orthorhombique, ils sont quadratiques, et $a : c = 1 : 0,64379$. Les cristaux sont maclés suivant (101) et allongés suivant l'arête (111) (111). La densité est 6,45.

L'analyse, exécutée par G. Thésen, a donné les résultats suivants :

Nb^2O^5, 31 ; Ta^2O^5, 52 ; SnO^2, 0,18 ; FeO, 16,62. Total, 99,72

représentés par la formule $FeNb^2O^6,FeTa^2O^6$.

La mossite et la tapiolite peuvent donc être considérées comme les équivalents tétragonaux de la columbite et de la tantalite. Les cristaux de tapiolite de Sukula présentent les mêmes formes et la même macle que la mossite ; $a : c = 1,0,65251$.

Ce qu'on a appelé tantalite de Tammela (Finlande) ou skogbölite, est identique à la tapiolite. Les cristaux ($FeTa^2O^6$), décrits comme orthorhombiques sont quadratiques, maclés comme la mossite, et $a : c = 0,65189$.

(W.-C. Brogger (*Vidensk. Skrift. I. Math. Nath. Klasse. Krystiania*, 1897, p. 1.)

Digitized by Google

Beresowite. — Ce minéral décrit par M. J. Samoilow (*Bull. de la Soc. imp. des Nat. de Moscou*, 1897, n° 2, p. 190) possède une couleur rouge foncé et ressemble à la mélanochroïte de R. Hermann. Il ne se présente pas en cristaux distincts, mais il possède un clivage parfait suivant une direction. Sa densité est 6,69.

La beresowite est biréfringente.

Au chalumeau, la beresowite devient de couleur foncéé et reprend sa couleur primitive par refroidissement. Elle donne les réactions du plomb et du chrome.

L'analyse a donné les résultats suivants :

	I	II	III	Calculés
PbO	79,36	79,24	—	79,50
CrO^3	17,93	17,93	—	17,88
CO^2	—		2,46	2,62

La formule $2PbO,3PbCrO^4,PbCO^3$ représente cette composition.

La beresowite a été observée sur des échantillons du Cabinet minéralogique de l'Université de Moscou, provenant de Beresow. Elle est associée à la galène, à la cérusite. On y trouve aussi des pseudomorphoses de crocoïse en beresowite.

Erionite. — Zéolite décrite par M. A.-S. Eakle (*Zeitsch. f. Kryst.*, t. XXX, p. 176) se trouvant dans un tuf rhyolitique de Durken, Oregon. Elle se montre en aiguilles très fines de couleur blanc de neige et à éclat nacré. La densité est 1,997. La perte d'eau à 110° est de 7,68 0/0 ; à 200°, 13,32 ; à 280°, 15,25 ; et la perte totale est 17,30 0/0.

L'analyse a donné les résultats suivants :

SiO^2 57,16, Al^2O^3 16,08, CaO 3,50, MgO 0,66, K^2O 3,51, Na^2O 2,47, H^2O 17,30. Total 100,68.

Digitized by Google

Ces résultats conduisent à la formule $H^2Si^6Al^2(Ca,K^2,Na^2)O^{17} + 5H^2O$.

Zirkelite. — A propos de la description du minéral nouveau décrit par MM. E. Hussak et G.-T. Prior et appelé zirkelite, M. E. Wadsworth rappelle qu'il a donné, en 1887, ce nom de zirkélite à une roche du lac Supérieur appartenant au groupe des basaltes (*Am. J. of Sc.*, p. 153, février 1898).

Bliabergite. — D'après M. Weibull (*Geol. Fören. Förh.*, p. 515, t. XVIII, 1896), ce minéral, décrit par Igelström, est de l'ottrelite. M. Bäckström est arrivé aux mêmes conclusions.

Dicksbergite. — Encore d'après M. Weibull, ce minéral, décrit par Igelström, est du rutile.

Identité de l'andorite, de la sundtite et de la webnerite. — MM. G.-T. Prior et L.-J. Spencer (*Min. Mag.*, t. XI, p. 286-301 ; et *Zeit. Kryst.*, t. XXIX, p. 346, 1898) ont repris l'étude de ces trois espèces, et de leurs recherches ils ont déduit qu'elles sont identiques par leur composition et par leurs propriétés cristallographiques. L'andorite a été décrite par M. Krenner, en 1892. Elle se trouve à Felsobanya (Hongrie), Krenner lui a attribué la formule $2PbS,Ag^2S,3Sb^2S^3$. La sundtite de Oruro (Bolivie), décrite par M. Brögger, avait pour formule $(Ag^2Cu^2Fe)S,Sb^2S^3$; à la webnerite de Oruro, décrite comme zinckenite argentifère, on avait attribué la formule $2\ 1/2(PbS,Sb^2S^3) + Ag^2S,Sb^2S^3$. L'analyse de la sundtite a donné les résultats suivants :

Pb 24,10 ; Ag, 10,94 ; Cu, 0,68 ; Fe, 0,30 ; Sb, 41,31 ; S, 22,06.
Total, 99,39,

composition qui peut être représentée par la formule de l'andorite. Il en est de même de la webnerite.

Digitized by Google

Identité de la chalcostibite (wolfsbergite) et de la guéjarite. — M. S.-L. Penfield et A. Frenzel (*Amer. Journ. of Sc.*, juillet 1897, p. 27; et *Zeitsch. f. Kryst.*, XXVIII, p. 598, 1897) montrent que la chalcostibite, décrite par Zincken en 1835 et appelée ainsi par Glocker en 1847, et la guéjarite, décrite par M. Cumenge en 1879, sont identiques. Leur formule est $Cu^2S,2Sb^2S^3$.

Composition de l'ilménite. — M. S.-L. Penfield (*Am. J. of Sc.*, t. III, p. 108,. 1897) attribue à l'ilménite la formule FeO,TiO^2 et non $(FeTi)^2O^3$. En effet, le rapport des axes cristallographiques de l'ilménite n'est pas intermédiaire entre celui de l'oligiste Fe^2O^3 et du produit artificiel Ti^2O^3.

Comptes rendus des publications étrangères.

T.-L. Walker. — *Examen des minéraux tricliniques par les figures de corrosion* (*Am. Journ. of Sc.*, p. 176, mars 1898).

L'auteur examine les figures de corrosion de cristaux d'axinite de Bourg-d'Oisans, sur lesquels il fait agir pendant quelques minutes un mélange à parties égales d'acide fluorhydrique et d'acide sulfurique; 2° celles des cristaux du disthène de Saint-Gothard, traités d'abord au rouge par un mélange de bisulfate de potasse et de fluorine en poudre et ensuite par l'acide chlorhydrique ; 3° celle de la chalcanthite ou sulfate de cuivre ; 4° celles de la rhodonite et de l'albite, traités comme l'axinite. Toutes les figures de corrosion ont montré que ces substances étaient tricliniques et holoédriques.

Digitized by Google

A.-H. Chester. — *Sur le krennerite de Cripple Creek-Colorado* (*Ibid.*, p. 375, mai 1898).

Les cristaux de krennerite se trouvent dans une gangue quartzeuse et partiellement inclus dans une mince couche de matière molle qui peut être du kaolin, mais qui n'a pas été examinée. De petits cristaux de pyrite sont disséminés dans la gangue.

L'analyse a donné les résultats suivants :

Or, 43,33 0/0 ; argent, 0,45 ; tellure évalué par différence, 55,04 ; partie insoluble, 1,21 ; Fe^2O^3, trace.

La composition est représentée par la formule $AuTe^2$ qui est celle de la calavérite.

Les faces des cristaux sont striées et celles qui ont été observées sont (100) (010) (001) (110) (320) (120) (101) (201) (011) (122).

A. Liversidge. — *Sur la structure cristalline des pépites d'or et de platine et des lingots d'or* (*Proc. of the Roy. Soc. of New South Wall.*, p. 189).

Les sections de pépites d'or et de platine sont corrodées par l'acide chlorhydrique. Les figures de corrosion montrent que les pépites ne sont pas formées de couches concentriques, qui se seraient formées autour d'un noyau, mais qu'elles ont une structure cristalline interne bien marquée. L'or fondu en lingots présente aussi une structure cristalline semblable ; toutefois l'auteur ne pense pas que l'or natif ait été fondu. Il s'est déposé d'une solution et généralement sans filons dans les roches.

Digitized by Google

W. Ramsay et M.-W. Travers. — *Un minéral endothermique : la fergusonite* (*Proc. Roy. Soc.*, vol. LXII, p. 325, 1898).

La fergusonite, découverte par Hartwall, est associée au feldspath et au mica, comme les autres minéraux rares de Norwège (euxénite, samarskite), et, comme ces derniers, elle contient de l'hélium qui se dégage quand on chauffe le minéral. Mais la fergusonite présente un phénomène tout à fait inattendu. Chauffée à une température ne dépassant pas 500° ou 600°, elle devient brusquement incandescente, perd une grande quantité de son hélium, et sa densité diminue.

Les analyses quantitatives des gaz dégagés ont donné les résultats suivants :

	Gaz total c.c.	par gr. de minéral	p. 100
Hélium.....	5,24	1,080	75,50
Hydrogène.....	0,38	0,078	5,47
Acide carbonique.	1,19	0,245	17,14
Azote.....	0,13	0,027	1,88
Total.....	6,94	1,430	99,99

Mais tout le gaz ne se dégage pas pendant l'incandescence. Le minéral, traité ensuite par le sulfate de potasse et chauffé au rouge sombre, donne encore les quantités suivantes :

	Gaz total c.c.	par gr. de minéral	p. 100
Hélium.....	3,48	0,733	60,3
Azote.....	0,42	0,088	7,3
Oxygène.....	1,87	0,391	32,4
Total.....	5,77	1,215	100,

La densité de l'échantillon étant, avant l'expérience,

Digitized by Google

de 5,619, devient de 5,375. La chaleur spécifique, de 0 à 17° est de 0,1069.

Plusieurs hypothèses peuvent être émises pour expliquer cette réaction endothermique. 1° La diminution de la densité peut être due à la perte de l'hélium, l'hélium étant à l'état de combinaison et non retenu par les pores du minéral; 2° à la polymérisation.

F. Zirkel. — *Elemente der Mineralogie begründet von C.-F. Naumann*, 13e *édition*, *Leipzig*, 1898.

Cette nouvelle édition diffère beaucoup de la précédente, publiée en 1885. La première partie, consacrée aux propriétés générales des minéraux, contient un resumé des résultats acquis à la science dans ces dernières années et concernant la structure des cristaux, la composition des minéraux, etc. Dans la deuxième partie, relative à la description des espèces, tous les minéraux nouvellement décrits y sont mentionnés.

P. Groth. — *Tabellarische übersicht der Mineralien nach ihren krystallographisch-chemischen Beziehungen*, 4e *édition*, *Braunschweig*, 1898.

L'auteur a fixé, dans sa classification des minéraux, basée sur leurs propriétés chimiques et cristallographiques, la place des espèces décrites depuis 1889 et de celles qui ont été, depuis cette époque, mieux étudiées.

Digitized by Google

ERRATA

Nos 3, 4, 5, mars, avril et mai 1898. — Tome XXI :

Analyse spectrale des minéraux non conducteurs, par M. A. de Gramont.
Page 126, ligne 4, en commençant par le haut, et suivantes :
Au lieu de :
« Donnent une seule raie notable dans le rouge (640.9), mais très développés dans le vert et toute la partie plus réfrangible du spectre où les raies bleues et violettes » ;
Lire :
« Donnent une seule raie notable du strontium (voir ci-dessus, page 15) dans le rouge (640.9), tandis que le spectre de ce corps est très développé dans le vert et dans toute la partie plus réfrangible où les raies bleues ou violettes. »

Les deux notes de M. A. de Schulten : *Reproduction artificielle de la lanarkite* et *Reproduction artificielle de le lautarite*, ont été placées à tort dans les *Comptes Rendus des Publications étrangères.*

Page 88, ligne 10, en descendant :
Au lieu de : du chlore ;
Lire : du culot.

Page 145, ligne 7, en remontant :
Au lieu de : Goldschtmid ;
Lire : Goldschmidt.

Le Secrétaire, gérant,
Paul GAUBERT.

Tours. — Imprimerie Deslis Frères.

Digitized by Google

BULLETIN

DE LA

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE MINÉRALOGIE

ANNÉE 1898. — BULLETIN N° 7.

Compte rendu de la séance du 10 novembre 1898.

PRÉSIDENCE DE M. LE CHATELIER.

M. le Président fait part à la Société de la mort de M. Andreas Arzruni, décédé à Aix-la-Chapelle, le 22 septembre 1898.

M. le Président annonce une présentation.

M. VALLERANT montre l'usage de l'appareil, qu'il a décrit dans le *Bulletin* (nov. 1897, p. 239), pour la détermination des indices de réfraction des minéraux des roches.

Digitized by Google

Théorie des anomalies optiques, de l'isomorphisme et du polymorphisme,

déduite des Théories de MM. Mallard et Sohncke

Par Fréd. Wallerant.

INTRODUCTION.

A peu près à la même époque, Mallard et Sohncke, étudiant les propriétés optiques des cristaux et, en particulier, la polarisation rotatoire, arrivaient à cette conclusion que la théorie de Bravais ne suffisait pas à expliquer les propriétés de certains corps cristallisés et qu'il fallait admettre dans ceux-ci une diversité d'orientations des molécules en contradiction avec la définition de l'homogénéité donnée par Bravais.

Quoique partant du même point, ces deux savants suivirent deux voies tout à fait différentes. M. Sohncke, se plaçant plus particulièrement au point de vue théorique, élargit la définition de l'homogénéité et posa les bases d'une nouvelle théorie de la structure cristalline, qui doit être considérée comme une généralisation de la théorie de Bravais. Mallard, au contraire, s'adonnant à l'étude des cristaux eux-mêmes, recherche quelles sont les structures qui permettent d'expliquer leurs propriétés, et il est amené ainsi à établir ses théories, relatives aux macles, au polymorphisme et aux anomalies optiques. A première vue, les résultats auxquels arrivent les deux auteurs peuvent paraître en contradiction, surtout si l'on s'en tient aux premières publications de Mallard, où la théorie de Bravais sert toujours de point de départ aux explications théoriques. Mais, si, allant au fond des choses, on fait abstraction des légères différences qui doivent forcément exister dans les œuvres de deux hommes

Digitized by Google

ayant travaillé séparément, on voit facilement que leurs résultats se prêtent un appui mutuel des plus complets. La théorie de Sohncke apporte aux résultats de Mallard un caractère de généralité qu'ils n'auraient pas sans elle et, d'autre part, en constatant dans les cristaux les structures prévues par la théorie de Sohncke, Mallard donne à celle-ci une consécration qui lui manquait.

Malgré cette concordance, la théorie de Sohncke a été développée et complétée depuis avec beaucoup de talent par MM. Schœnfliess et v. Fedorow, tandis que les idées de Mallard étaient, il faut bien le reconnaître, complètement abandonnées à l'Étranger. Cet abandon provient, je crois, de ce que Mallard, tout en modifiant progressivement ses idées, les a toujours présentées sous la même forme et a caché ainsi la véritable portée de ses dernières théories, les seules à retenir. Considérons, par exemple, le cas du polymorphisme. Dans son mémoire de 1876, Mallard considère la forme symétrique comme résultant du groupement intime de plusieurs cristaux de la forme dissymétrique. Dans ce groupement, ces derniers conservent leur individualité et, par suite, de leurs propriétés physiques, on peut déduire celles de la forme symétrique, au moyen des formules établies par l'auteur lui-même.

Cette théorie primitive était parfaitement coordonnée dans toutes ses parties ; malheureusement elle ne concorde pas avec la réalié des faits et, à son sujet, Mallard s'exprime de la façon suivante dans *la Revue scientifique* de 1887 :

« Cette hypothèse ne peut cependant être adoptée sans qu'on lui fasse subir de profondes modifications. L'observation montre, en effet, que la calcite est une individualité cristalline distincte de celle de l'aragonite. La calcite possède des clivages, l'aragonite n'en montre pas ; la densité de la première est de 2,7, tandis que celle de la seconde est 2,85.

Digitized by Google

Entre l'aragonite et la calcite il existe donc un fossé profond que ne semblent pas pouvoir combler les groupements même multipliés de l'aragonite. »

Pour combler ce fossé, Mallard admet que la molécule d'aragonite perd son individualité dans la calcite ; en outre, quoiqu'il n'indique pas son opinion sur ce point, il est facile de voir que le réseau de l'aragonite ne peut se conserver. Mais, si les éléments, molécule et réseau, caractérisant l'aragonite ne subsistent pas dans la calcite, il n'y a plus lieu de parler de groupements de cristaux d'aragonite ; il faut rechercher directement les groupements d'éléments de carbonate de chaux capables de produire, d'une part, l'aragonite et, d'autre part, la calcite. En réalité, c'est ce que fait Mallard dans sa nouvelle théorie, tout en conservant la forme d'exposition de la théorie primitive, ce qui l'empêche de donner la solution complète et l'amène à dire :

« Il n'est pas d'ailleurs possible que le groupement que nous avons choisi comme le plus simple pour rendre compte du passage du nitre, de la forme rhombique à la forme rhomboédrique, soit précisément celui que réalise la nature. En effet, après ce groupement, si la particule a bien acquis un axe ternaire et trois plans de symétrie passant par cet axe, elle n'a pas acquis, comme il le faudrait, un centre et trois axes binaires. Il est d'ailleurs possible, et même jusqu'à un certain point vraisemblable, que la forme rhombique du nitre soit une forme déjà obtenue par groupement d'une autre forme clinorhombique ou même anorthique encore inconnue. »

On voit donc que Mallard a progressivement modifié ses idées, tout en leur conservant leur forme première et qu'il est arrivé jusqu'à la solution du problème, mais sans pouvoir la formuler. A cette époque, en effet, les mathématiciens et cristallographes, MM. C. Jordan, Sohncke, Schœnfliess et

Digitized by Google

v. Fedorow, n'avaient pas encore publié leurs beaux travaux, ou, tout au moins, ne les avaient pas mis au point en ce qui concerne la cristallographie, et le problème ne pouvait être que posé. Aujourd'hui, au contraire, quelques mots suffisent pour déduire des travaux précédents une explication du polymorphisme, des anomalies optiques et de l'isomorphisme.

Je commencerai donc par exposer à grands traits les principes des théories de MM. Sohncke et Schœnfliess, en les mettant plus en harmonie avec l'ordre d'idées adopté en France.

En s'appuyant sur les propriétés physiques des corps cristallisés, on arrive, en dernière analyse, à les considérer comme constitués d'éléments tous semblables, mais souvent de deux sortes, les éléments d'une sorte étant superposables entre eux et symétriques des éléments de l'autre sorte. Ces éléments ne possèdent aucune symétrie ; autrement dit, il n'existe pas, à l'intérieur d'un élément, deux points autour desquels la matière soit également répartie. On peut leur donner le nom de *particule fondamentale* qui rappelle l'expression de *domaine fondamental* employée par M. Schœnfliess pour en désigner la représentation géométrique.

Deux points appartenant à deux particules fondamentales orientées parallèlement sont dits homologues, si la matière est semblablement répartie autour d'eux à l'intérieur des particules, et la structure des corps cristallisés est telle, par définition, que si, par deux points homologues on mène deux droites égales parallèles et de même sens, les extrémités de ces droites sont deux points homologues entre eux. Il résulte de cette définition que la matière est également répartie autour de deux points homologues à l'intérieur du corps cristallisé, que tous les points homologues d'un point donné coïncident avec les nœuds d'un système réticulaire, qui ne varie ni en grandeur, ni en orientation, quand on

Digitized by Google

passe d'un point à un autre et que, par suite, toute translation égale et parallèle à une rangée de ce système réticulaire ramène le corps en coïncidence avec lui-même.

Un corps ainsi constitué peut présenter des éléments de symétrie qui sont :

1° Les centres ;

2° Les plans, de deux sortes : les uns, plans de réflexion, qui ne sont que les plans de symétrie dans le sens habituel du mot ; les autres, plans de glissement, sont des plans de réflexion auxquels s'ajoute une translation qui leur est parallèle ;

3° Les axes, de deux sortes : les axes de rotation dans le sens habituel du mot, et les axes héliçoïdaux, axes de rotation accompagnés d'une translation qui leur est parallèle (1).

On se rend compte sans difficulté qu'un plan ne peut être un plan de symétrie d'un corps cristallisé que s'il est parallèle à un plan de symétrie de son système réticulaire, et, dans le cas d'un plan de glissement, la translation doit être parallèle à une rangée et égale à un nombre entier de fois le demi-paramètre de cette rangée.

De même, une droite ne peut être un axe de symétrie d'ordre n que si elle est parallèle à un axe de même ordre du système réticulaire, et, dans le cas d'un axe héliçoïdal, sa translation doit avoir une des valeurs $\frac{ma}{n}$, a étant le paramètre de l'axe du système réticulaire, et m étant un nombre entier plus petit que n.

On voit donc que les éléments de symétrie du système réticulaire régissent les éléments de symétrie du corps cristallisé, comme dans la théorie de Bravais.

Mais il est bien évident que si un corps cristallisé pos-

(1) Au point de vue cristallographique, il n'y a pas intérêt à faire intervenir le Spiegeldrehaxe des mathématiciens.

Digitized by Google

sède un élément de symétrie, il en possède une infinité de même nature, que l'on obtient en combinant l'élément donné avec les translations du réseau, et ensuite en combinant entre eux les nouveaux éléments obtenus.

Je ne ferai qu'indiquer les principaux résultats auxquels conduisent ces combinaisons.

Théorème. — Si un corps cristallisé possède un centre C, il en possède une infinité, qui sont les nœuds de huit réseaux ayant pour origine, l'un, le point C, et les autres, les milieux des droites joignant C aux sept autres sommets de la maille du réseau ayant C pour sommet.

Théorème. — Si un corps cristallisé possède un plan de symétrie, il en possède une infinité parallèles entre eux et équidistants. Cette distance commune est la moitié de la distance de deux plans réticulaires limitrophes parallèles au plan de symétrie.

Théorème. — Si un corps cristallisé possède un axe de symétrie, il en possède une infinité d'autres du même ordre qui sont les rangées parallèles à l'axe du réseau ayant pour origine un point quelconque de l'axe.

Théorème. — Soient : A, le point d'intersection d'un axe d'ordre n avec un plan perpendiculaire ; AB, la projection sur ce plan d'une rangée du réseau ayant A pour origine ; le corps possède une infinité d'axes d'ordre n parallèles à l'axe donné, coupant le plan en des points ayant pour coordonnées polaires relativement à l'axe AB :

$$\omega = \frac{\pi}{2} \pm \frac{\pi}{n}, \qquad \rho = \frac{AB}{2 \,.\, \sin \frac{\pi}{n}}.$$

La translation de ces axes est égale à la somme de la translation de l'axe donné et de la projection sur cet axe de la rangée se projetant suivant AB.

Digitized by Google

Théorème. — Soient A_1A_2 les points d'intersection de deux axes parallèles d'ordre n avec un plan perpendiculaire, par le point ayant pour coordonnées polaires :

$$\omega = \frac{k_1\pi}{n}, \qquad \rho = A_1A_2 \frac{\sin \frac{k_2\pi}{n}}{\sin (k_1 + k_2) \frac{\pi}{n}},$$

dans lesquelles k_1 et k_2 sont des entiers astreints à la condition $k_1 + k_2 < n$, passe un axe d'ordre $\frac{n}{k_1 + k_2}$ dont la translation est la résultante des translations des axes donnés.

Théorème. — Soit un corps cristallisé ayant un axe de symétrie d'ordre n, de translation T, et un axe binaire perpendiculaire, de translation t et à une distance a du premier axe.

Si n est impair, le corps possédera $n - 1$ autres axes binaires, de même translation t, perpendiculaires à l'axe principal, à une même distance a de cet axe, faisant entre eux des angles égaux ; et la distance de deux axes binaires consécutifs, mesurée parallèlement à l'axe principal, sera égale à la translation de ce dernier.

Si n est pair, les axes binaires précédents deviennent parallèles deux à deux ; et parallèlement à la bissectrice de deux axes consécutifs il existera un axe binaire perpendiculaire à l'axe principal distant d'un axe binaire consécutif de $\frac{T}{2}$, distant de l'axe principal d'une longueur égale à la moitié de la résultante des projections sur leur commune perpendiculaire des longueurs $2a$ et t, et ayant pour translation la résultante des projections des mêmes longueurs sur sa direction.

Digitized by Google

Théorème. — Si un corps cristallisé possède un axe de symétrie d'ordre pair perpendiculaire sur un plan de symétrie, il possède un centre situé dans le plan passant par les deux translations et ayant pour coordonnées dans ce plan les moitiés de ces translations prises avec leur signe.

Théorème. — Si un corps possède un axe d'ordre n, de translation T, et un plan de symétrie de translation t, parallèle à l'axe et à une distance a de cet axe, il possède par cela même $n - 1$ autres plans de symétrie de translation t, parallèle à l'axe et à une distance a de cet axe.

Si n est impair, tous ces plans sont distincts, et deux plans consécutifs font entre eux un angle égal à $\frac{\pi}{n}$; mais, si n est pair, ils coïncident deux à deux; il n'y en a plus que $\frac{n}{2}$, et deux plans consécutifs font entre eux un angle égal à $\frac{2\pi}{n}$.

Dans les deux cas, faisant avec chacun des plans précédents un angle égal à $\frac{\pi}{n}$, existe un plan de symétrie parallèle à l'axe, distant de cet axe d'une longueur égale à la résultante des projections des longueurs t, $2a$, sur sa normale, et ayant pour translation la résultante des projections sur lui-même des longueurs T, t et $2a$.

En s'appuyant sur les théorèmes précédents, on distingue, sans trop de difficulté, des groupes d'éléments de symétrie, remplissant l'espace et satisfaisant à cette condition que de leur combinaison entre eux ou avec les translations du réseau il ne résulte aucun nouvel élément de symétrie. Un tel groupe peut être désigné sous le nom de *groupe de symétrie*.

On range ces groupes dans sept systèmes, suivant la nature de leurs réseaux, et, parmi les groupes d'un système, l'un possède tous les éléments du réseau, il est dit holoédrique;

Digitized by Google

les autres n'en possèdent qu'une partie, ils sont dits mériédriques. Bien entendu, dans ce dernier cas, contrairement à ce qu'admettent la généralité des auteurs, il n'y a aucune limite dans la réduction des éléments de symétrie du groupe.

Dans la pratique, pour plus de simplicité, il y a lieu de distinguer les éléments de symétrie primordiaux des éléments subordonnés ; les premiers sont tels que, combinés entre eux et avec les translations du système réticulaire, ils donnent tous les autres éléments de symétrie.

Ces éléments primordiaux étant connus en nature et en position, trois rangées conjuguées du système réticulaire étant données en grandeur et en direction, il suffira, pour déterminer complètement la structure du corps, de connaitre la position du centre de gravité d'une particule fondamentale relativement aux éléments de symétrie et l'orientation de la particule autour de son centre de gravité.

Il suffit, en effet, de construire le système réticulaire ayant pour point de départ le centre de gravité donné et sur chaque nœud de placer le centre de gravité d'une particule orientée parallèlement à la particule donnée, puis de construire les symétriques de l'édifice élémentaire ainsi obtenu relativement aux éléments de symétrie primordiaux donnés. Les systèmes réticulaires obtenus dans cette dernière opération sont égaux et parallèles au premier, mais les particules ne possèdent pas l'orientation de la première particule ; le nombre des orientations différentes est précisément donné par la formule fournissant le nombre des faces d'un cristal lorsqu'on connait ses éléments de symétrie.

Les corps dont la structure se trouve ainsi complètement déterminée se répartissent dans les sept systèmes cristallins, et, ici encore, il y a lieu de distinguer l'édifice holoédrique des édifices mériédriques, la structure de ceux-ci pouvant s'obtenir soit en partant d'un groupe mériédrique,

Digitized by Google

soit d'un groupe holoédrique, mais en n'utilisant qu'une partie, bien choisie, des éléments.

Il me reste à dire deux mots d'une notion nouvelle introduite par M. Schœnfliess, la notion de *domaine fondamental*, qui est la représentation géométrique de la particule fondamentale. M. Schœnfliess a montré, en effet, que l'on pouvait décomposer un corps cristallisé en une infinité de polyèdres juxtaposés, tous semblables entre eux et généralement de deux sortes, les polyèdres d'une sorte étant superposables entre eux et symétriques des polyèdres de l'autre sorte. Ces polyèdres jouissent de la propriété qu'un quelconque d'entre eux renferme un point du corps cristallisé et un seul autour duquel la matière est distribuée d'une manière déterminée. Un tel polyèdre a reçu de M. Schœnfliess le nom de domaine fondamental. En général, sa forme n'est pas déterminée; mais, d'après la définition même, elle est astreinte à certaines conditions : le domaine ne doit pas être coupé par un élément de symétrie du corps cristallisé et si, par conséquent, celui-ci possède un plan de symétrie, il devra coïncider avec une face du domaine; s'il possède un centre, un axe, ce centre, cet axe devront se trouver sur la surface du domaine.

Bien entendu, pour les domaines fondamentaux, comme pour les particules fondamentales, l'un d'eux étant donné, tous les autres peuvent s'obtenir au moyen des translations du système réticulaire et des éléments de symétrie.

Considérons l'un de ces domaines fondamentaux et prenons ses symétriques relativement aux éléments *primordiaux* qui se trouvent à sa surface, autant de fois, bien entendu, que le comporte l'ordre de ces éléments. Nous obtenons ainsi un groupe de domaines fondamentaux contigus, possédant tous les éléments de symétrie du corps cristallisé ; un tel groupe a reçu de M. Schœnfliess le nom de *domaine complexe*. Il

Digitized by Google

est bien évident, par suite, que les particules fondamentales peuvent se grouper de façon à constituer un groupe de particules fondamentales contiguës possédant tous les éléments de symétrie du corps cristallisé. Nous désignerons ces groupes sous le nom de *particules complexes*. Mais alors le corps cristallisé peut être considéré comme constitué par des particules complexes, orientées parallèlement et dont les centres de gravité coïncident avec les nœuds d'un réseau. On retombe ainsi sur la théorie de Bravais, qui n'est qu'un cas particulier de la théorie de M. Sohncke.

Il ne sera pas inutile de donner une application des considérations qui précèdent et, pour cela, nous chercherons à déterminer la structure d'un édifice cristallin ayant les éléments de symétrie d'un réseau sénaire, ses axes de symétrie étant des axes de rotation, et ses plans de symétrie des plans de réflexion.

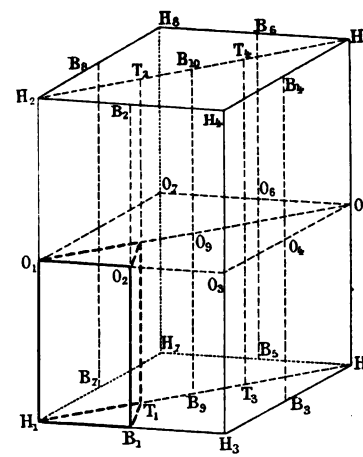


Fig. 1.

Soit H_1H_2 (*fig.* 1) un axe sénaire de rotation, et prenons

Digitized by Google

le point H_1 comme origine du réseau qui, comme on le sait, a pour maille un prisme droit à base rhombe de 60°. Toutes les rangées de ce réseau parallèles à H_1H_2 seront également des axes sénaires de rotation. En combinant ces rotations avec les translations du réseau, on voit facilement que les droites telles que T_1T_2, T_3T_4, parallèles aux axes sénaires, et passant par les centres de gravité des triangles équilatéraux, qui forment les bases de la maille, sont des axes ternaires de rotation; en second lieu, les droites telles que B_1B_2, B_3B_4, B_5B_6, B_7B_8, B_9B_{10}, passant par les milieux des rangées de la base, sont des axes binaires de rotation.

Supposons maintenant que l'édifice cristallin possède un plan de réflexion passant par un axe sénaire; le plan devant être parallèle à un plan de symétrie du réseau coïncidera soit avec une face de la maille, soit avec le plan diagonal de cette maille. Dans les deux cas il en résultera six plans de réflexion passant par l'axe sénaire faisant entre eux des angles de 30°, et, parallèlement à chacun de ces plans, il existera une série de plans de réflexions équidistants et distants de la moitié du paramètre de la rangée perpendiculaire.

Supposons maintenant que l'édifice cristallin possède un centre sur l'axe sénaire; on peut supposer qu'il coïncide avec le point H_1, puisque celui-ci a été pris arbitrairement. Non seulement les nœuds du réseau ayant pour origine H_1 seront des centres, mais encore tous les points milieux des rangées de ce réseau; ainsi donc seront des centres tous les points H, tous les points B et les points O.

Mais la présence de ce centre combiné avec l'axe sénaire entraîne l'existence de plans de réflexion principaux perpendiculaires à l'axe passant par les centres et, par suite, équidistants de la moitié du paramètre de l'axe. En outre, perpendiculairement à chacun des plans de réflexion

Digitized by Google

passant par l'axe sénaire, existera une série d'axes binaires de rotation, situés dans les plans principaux et passant par les centres contenus dans ces plans.

Tels sont les éléments de symétrie de l'édifice cristallin, éléments qui remplissent tout l'espace.

Le domaine fondamental est facile à déterminer, puisque les éléments de symétrie doivent être à sa surface ; c'est un prisme droit à base triangulaire ayant ses bases dans deux plans principaux ; ses arêtes latérales sont un axe sénaire H_1O_1, un axe ternaire T_1T_2 et un axe binaire B_1O_2 ; ses faces latérales, trois plans de symétrie non principaux ; les quatre sommets H_1, B_1, O_2, O_1 sont des centres, tandis que les sommets situés sur les axes ternaires n'en sont pas.

Pour avoir le domaine complexe, il faut prendre les symétriques de ce domaine fondamental relativement aux éléments de symétrie primordiaux situés à sa surface, c'est-à-dire dans ce cas, l'axe sénaire, un plan principal et un plan non principal ; on obtient ainsi, évidemment, un prisme droit à base hexagonale dont les arêtes sont les axes ternaires.

Pour obtenir l'édifice cristallin, il suffit finalement de placer, dans chaque domaine fondamental, une particule fondamentale, la position de celle-ci relativement au domaine étant constante.

Tels sont les points essentiels de la théorie dont les bases ont été posées par M. Sohncke et qui fut développée plus tard par MM. Schœnfliess et von Fedorow. Son principal avantage consiste à n'imposer aucune condition à la particule fondamentale, à laisser sa forme tout à fait indéterminée et à expliquer les propriétés de symétrie des corps cristallisés en se basant sur leur structure. Mais, bien entendu, cette théorie n'exclut pas d'une façon définitive la théorie de Bravais pas plus que cette dernière n'a fait complètement rejeter la théorie d'Haüy. Il est, en effet, fort possible et même fort

Digitized by Google

probable que, pour certains corps, dans certaines conditions, la particule complexe possède une certaine individualité, qu'elle subsiste, par exemple, dans les dissolutions. Mais cette association définitive des particules fondamentales en particules complexes ne paraît pas être générale et, pour expliquer certains phénomènes, il faut reconnaître aux particules fondamentales une indépendance leur permettant de s'associer suivant des règles, variables avec les conditions de cristallisation.

Qnant à la particule fondamentale, nous n'avons naturellement que fort peu de renseignements sur elle ; tout ce que nous pouvons dire, c'est qu'elle est formée d'une ou plusieurs molécules, en nombre variable, suivant le corps et les conditions de cristallisation.

DES FORMES MÉRIÉDRIQUES.

Étant donnée l'importance du rôle que joue la considération des formes mériédriques dans les explications qui suivront, je crois devoir appeler particulièrement l'attention sur elles et faire à leur sujet quelques remarques d'une application immédiate.

On sait que l'on appelle groupe de symétrie, édifice cristallin, forme cristalline mériédrique, un groupe, un édifice, une forme ne possédant qu'une partie des éléments de symétrie du système réticulaire. Bravais, pour obtenir les édifices mériédriques et leurs formes cristallines, part de l'édifice holoédrique et fait décroître successivement la symétrie de la molécule, c'est-à-dire de la particule complexe. Les auteurs allemands, obtenant directement les groupes mériédriques en ne faisant intervenir qu'une partie des éléments de symétrie du réseau, suivent, en réalité, une marche peu différente. On pourrait, d'ailleurs, suivre une

Digitized by Google

marche identique en partant du groupe holoédrique et en n'utilisant qu'une partie de ses éléments de symétrie.

Tous ces auteurs, d'ailleurs, dans la réduction successive des éléments de symétrie d'un système cristallin, s'arrêtent au moment de retomber sur les éléments de symétrie d'un système de symétrie inférieure. Ainsi, dans le système cubique, on s'arrête dans la réduction à la tétartoédrie, caractérisée par quatre axes ternaires et trois axes binaires, en faisant remarquer que, si on allait plus loin, la forme ne présenterait plus que trois axes binaires, c'est-à-dire les éléments de symétrie du système terbinaire. On admet par là, sans avoir aucune raison pour appuyer cette restriction, qu'un cristal n'ayant que trois axes binaires ne peut posséder un système réticulaire terquaternaire. Et cependant Bravais avait parfaitement prévu l'objection, car il dit : « J'*admettrai* la règle suivante : parmi les sept systèmes cristallins, les molécules d'une substance donnée qui vient à cristalliser adopteront celui dont la symétrie offre le plus grand nombre d'éléments communs avec la symétrie propre à leur polyèdre moléculaire. » Mais il ajoute : *Croire que cette règle ne souffre jamais d'exception serait peut-être aller trop loin.*

De même, Mallard dans le tome I de son *Traité de Cristallographie*, après avoir admis la même règle générale que Bravais, ajoute : « Si la relation *conjecturale* que nous avons établie plus haut entre la symétrie du réseau et celle du polyèdre moléculaire était vraie, le mode de classification serait tel que la nature du système cristallin indiquerait immédiatement le mode de symétrie du réseau. *La seule chose qu'il nous soit permis d'affirmer, c'est que le réseau fournit une symétrie au moins égale à celle qui caractérise le système.* »

Digitized by Google

Mais, après avoir ainsi prévenu l'objection dans l'exposé des généralités de la cristallographie, ces auteurs, lorsqu'ils abordent l'étude des différents systèmes cristallins, ne font aucune allusion à ces formes de symétrie inférieure. Ainsi s'est accréditée cette opinion, aujourd'hui universellement admise, que le réseau d'un corps cristallisé est, parmi les réseaux possédant les éléments de symétrie de ce corps, celui qui possède la symétrie la moins élevée. Tandis qu'en réalité le réseau peut être l'un quelconque de ceux possédant les éléments de symétrie du corps. Ainsi un corps ayant un réseau cubique peut posséder non seulement les éléments de symétrie de l'un des groupes distingués dans le système terquaternaire, mais encore ceux de l'un des groupes des systèmes quaternaire, ternaire, terbinaire, binaire ou anorthique. Il n'en faut pas conclure de là qu'il n'est pas possible de distinguer un corps cubique d'un corps appartenant à un autre système cristallin. Les formes mériédriques du système régulier sont astreintes à certaines conditions permettant de les distinguer : leurs faces doivent faire entre elles les angles des plans réticulaires du réseau terquaternaire; leurs paramètres doivent être entre eux dans des rapports déterminés. Il est inutile que je donne ces rapports, Mallard les a déjà indiqués, à propos d'une autre question, dans le tome VII de ce *Bulletin*. Je ne citerai qu'un exemple : Si un corps ayant les éléments de symétrie du système ternaire possède un réseau cubique, la forme primitive, au lieu d'être un rhomboèdre quelconque, sera un cube, mais un cube ne possédant qu'un axe ternaire ; en outre, les paramètres de l'axe ternaire et d'un axe binaire seront entre eux comme $\sqrt{3}$ et $\sqrt{2}$.

Il est bien vrai, d'ailleurs, qu'un édifice cristallin de structure mériédrique devra être d'autant plus rare que la mériédrie sera plus prononcée. Pour que les particules com-

Digitized by Google

plexes d'un corps se disposent suivant les mailles d'un réseau de symétrie donnée, il ne suffit pas que ces particules possèdent certains éléments de symétrie de ce réseau; il faut encore, en général, que les actions qu'elles exercent suivant certaines directions satisfassent à des conditions déterminées : pour que ces particules se disposent sur un réseau cubique, il faut que les actions exercées suivant les trois axes quaternaires soient égales entre elles. Or, tant que la symétrie de l'édifice cristallin est supérieure à la symétrie du réseau, de symétrie immédiatement inférieure à celle de son réseau, ces conditions sont remplies par simple raison de symétrie, quelle que soit la particule fondamentale. Si, au contraire, la symétrie de l'édifice est précisément celle d'un réseau de symétrie inférieure ou celle du sien, la symétrie ne suffit plus pour entraîner la réalisation de ces conditions; elle ne peut résulter que des propriétés spéciales des particules fondamentales, propriétés qui ne paraissent se rencontrer que dans un petit nombre de corps.

Première remarque. — La conséquence la plus importante de cette extension de la mériédrie concerne les propriétés physiques dont les variations sont influencées par la symétrie moléculaire. Jusqu'ici, en effet, l'ellipsoïde d'élasticité optique, par exemple, possédant au moins les éléments de symétrie du cristal, affectait une forme différente pour chaque système cristallin, et l'étude des propriétés optiques pouvait, jusqu'à un certain point, servir à déterminer le système. Tous les cristaux cubiques étaient isotropes; les cristaux des systèmes sénaire, ternaire, quaternaire étaient uniaxes; les cristaux des autres systèmes étaient biaxes avec une dispersion de nature déterminée. Mais il n'en est plus de même avec l'extension proposée. La particule fondamentale, étant dépourvue d'éléments de symétrie, est naturellement biaxe; ou, pour parler d'une façon plus

Digitized by Google

rigoureuse, un cristal dont toutes les particules fondamentales sont parallèles est biaxe. L'uniaxie ne pourra résulter que de la répartition symétrique de ces particules fondamentales autour d'un axe d'ordre supérieur à deux, et l'isotropie de cette même répartition symétrique autour de plusieurs de ces axes. Il en résulte qu'un cristal cubique ne possédant qu'un axe quaternaire, ou un axe ternaire, sera uniaxe; s'il ne possède que des axes binaires ou des plans de symétrie, il sera biaxe. Comme on le voit, l'étude des propriétés optiques ne suffit donc plus pour définir le système cristallin. Il en est de même pour toutes les propriétés physiques dont les variations sont régies par un ellipsoïde.

Deuxième remarque. — Théoriquement un plan réticulaire quelconque peut être une face d'un édifice cristallin mériédrique, et cependant l'examen des formes mériédriques, dans le sens restreint du mot, amène à ce sujet une remarque non sans importance. On constate, en effet, sans difficulté que plus la mériédrie est prononcée, plus le nombre des faces *dominantes* est restreint. Ainsi les nitrates de plomb et de baryum, qui sont cubiques tétartoédriques, c'est-à-dire ont pour éléments de symétrie $3A^2$, $4L^3$, cristallisent presque toujours en tétraèdres; on peut encore obtenir des cubes, mais les autres faces ne se présentent que comme des facettes, des troncatures sur les solides précédents. Comme on le voit, les faces susceptibles d'être des faces dominantes, sont perpendiculaires sur les éléments de symétrie ; c'est ce qui a lieu le plus souvent : si la forme présente un axe, un plan de symétrie, les faces dominantes sont perpendiculaires sur cet axe, sur ce plan. Bien entendu, cette règle n'est pas générale ; mais elle est assez fréquemment réalisée pour que nous puissions l'étendre aux formes mériédriques, dans le sens général du mot, et pour que nous nous attendions à voir, dans ces dernières, le nombre des

Digitized by Google

faces dominantes diminuer de plus en plus, à mesure que la mériédrie s'accentue, à tel point que certains cristaux présentent toujours la même forme cristalline.

Troisième remarque. — Mallard a montré que les cristaux mériédriques étaient susceptibles de se macler autour des éléments de symétrie déficients de façon à constituer des édifices complexes possédant ces éléments de symétrie. Dans ces macles non seulement les cristaux s'accolent, mais encore ils peuvent se pénétrer intimement, de telle sorte que des portions de l'un d'eux peuvent se trouver isolées au milieu des autres. Or ces macles se prêtent à une remarque analogue à celle que nous venons de faire sur les faces dominantes; l'examen des formes mériédriques, dans le sens restreint du mot, montre, en effet, qu'elles sont d'autant plus fréquentes que la mériédrie est plus prononcée; à ce point qu'il est fort difficile d'obtenir certains cristaux non maclés. Les tétraèdres de nitrate de plomb et de baryum, par exemple, sont presque constamment maclés deux à deux, de façon à former des octaèdres, qui ne résultent pas, comme on pourrait le croire, de la superposition de deux formes cristallines tétraédriques sur le même cristal, mais sont constitués par huit pyramides ayant leur sommet au centre et pour bases chacune des faces.

En étendant cette remarque aux formes mériédriques, dans le sens général du mot, on arrive à cette conclusion que, dans les formes les plus appauvries, les macles doivent être encore plus fréquentes et même constantes dans certains cristaux. Cette remarque est, d'ailleurs, une conséquence immédiate de la cause physique attribuée à la tendance qu'offrent les cristaux à se macler. Le maximum de stabilité correspondant au maximum de symétrie, les cristaux doivent avoir une tendance d'autant plus grande à se macler que leur symétrie propre est moins accusée.

Digitized by Google

On peut d'ailleurs, comme me l'a fait remarquer M. Michel Lévy, calculer sans difficulté le nombre de cristaux qui doivent s'associer, pour constituer une macle. On remarquera d'abord que les éléments de symétrie de la forme mériédrique ne peuvent être pris au hasard parmi ceux du système réticulaire ; ils doivent appartenir à l'un des trente-deux groupes d'éléments de symétrie que l'on a distingués comme pouvant appartenir à un cristal. Il en est de même pour les éléments de symétrie de la macle, et les éléments déficients ne peuvent, par suite, être associés d'une façon quelconque à ceux du cristal. Dans certains cas, cette association est déterminée et les cristaux ne peuvent se grouper que d'une façon. Dans d'autres cas, l'association des éléments peut se faire de plusieurs façons, et les mêmes cristaux peuvent donner naissance à plusieurs macles.

Ceci posé, considérons les éléments de symétrie du cristal ; si on prend, relativement à ces éléments, les symétriques d'un polyèdre orienté d'une façon quelconque relativement à ces éléments, on obtiendra un nombre d'orientations donné, dans le cas général, par la formule

$$2[1 + \Sigma(n - 1)C_n],$$

C_n étant le nombre des axes de symétrie d'ordre n.

D'autre part, en prenant les symétriques d'un polyèdre, orienté d'une façon quelconque relativement aux éléments de symétrie de la macle, on obtiendra un nombre d'orientations égal à :

$$2[1 + \Sigma(m - 1)M_m].$$

Mais si, dans ce dernier cas, le polyèdre, au lieu d'être quelconque, possède les éléments de symétrie du cristal, chaque orientation se confondra avec un nombre d'orien-

Digitized by Google

tations égal à $2[1 + \Sigma(n - 1)C_n]$, et il ne restera que :

$$\frac{2\,[1 + \Sigma\,(m - 1)\,M_m]}{2\,[1 + \Sigma\,(n - 1)\,C_n]},$$

orientations différentes ; tel est donc le nombre de cristaux intervenant dans la constitution de la macle.

Examinons quelques cas :

Supposons que le cristal, appartenant au système cubique, ait pour élément de symétrie :

$$L^3,\ 3L^2,\ C,\ 3P.$$

En vertu du principe précédemment énoncé, l'association de ces éléments de symétrie à un axe quelconque des éléments déficients entraînera la présence de tous les autres éléments déficients. Les éléments de la macle seront donc :

$$3\Lambda^4,\ 4L^3,\ 6L^2,\ C,\ 6P,\ 3\Pi,$$

et le nombre des cristaux entrant dans la macle sera : $\frac{48}{12} = 4$.

Ces quatre cristaux seront symétriquement placés relativement aux éléments déficients, c'est-à-dire qu'ils auront pour arêtes les axes $3\Lambda^4$ et pour faces les plans 3L ; chacun d'eux sera donc composé de deux tétraèdres opposés par leur sommet commun coïncidant avec le centre ; de sorte que la macle paraîtra composée de huit cristaux. Quant à la forme cristalline limitant extérieurement chaque cristal, elle pourrait théoriquement se composer d'un pointement ternaire quelconque ; mais, comme je l'ai déjà dit, cette forme se compose généralement d'une seule face perpendiculaire à

Digitized by Google

l'élément de symétrie d'ordre le plus élevé, c'est-à-dire ici à l'axe ternaire, de telle sorte que la macle présentera la forme d'un octaèdre.

En second lieu, si le cristal, toujours cubique, ne possède qu'un axe binaire Λ^2 provenant de la réduction d'un axe quaternaire, cet axe pourra se combiner de plusieurs façons avec les axes déficients pour constituer autant de groupes d'éléments, qui pourront être ceux de la macle.

Si, par exemple, la macle possède un axe ternaire, ses éléments pourront être :

$$3\Lambda^2,\ 4L^3,$$

et le nombre des cristaux sera $\frac{12}{2} = 6$.

Ces cristaux auront pour arêtes communes les axes $4L^3$ et, par suite, auront la forme de pyramides quadrangulaires ayant pour sommet commun le point d'intersection des axes ternaires qui n'est pas un centre. De plus, la face cristalline ayant le plus de chance de se produire sera la face perpendiculaire à l'unique élément de symétrie Λ^2. La macle aura donc la forme d'un cube.

Les éléments de symétrie de la macle pourraient être :

$$3\Lambda^2,\ 4L^3,\ 6P;$$

le nombre des cristaux serait $\frac{24}{2} = 12$, et il est facile de voir que la macle aurait la forme d'un cube subdivisé en vingt-quatre pyramides ayant pour sommet commun le centre du cube et pour bases les vingt-quatre triangles dessinés dans les faces du cube par les diagonales. Il y aura donc, en apparence, vingt-quatre cristaux, mais deux pyramides

Digitized by Google

symétriquement placées par rapport à un axe Λ^2 appartiendront au même cristal.

Il n'y a pas lieu de multiplier davantage les exemples ; les précédents suffisent pour montrer que deux macles formées des mêmes cristaux peuvent présenter des structures tout à fait différentes.

Quatrième remarque. — On sait que tous les cristaux, en ce qui concerne leurs propriétés physiques, sont sensiblement isotropes. Mallard a interprété cristallographiquement ce fait et montré que, dans un grand nombre de cristaux, le réseau était sensiblement cubique, en comparant leur paramètre avec ceux d'un cristal cubique. On voit donc qu'il existe un grand groupe comprenant, d'une part, les cristaux dont le réseau est cubique et dont les éléments de symétrie sont ceux d'une forme cristalline que l'on considère habituellement comme appartenant à l'un des systèmes suivants : système terquaternaire, système quaternaire, système ternaire, système terbinaire, système binaire, système asymétrique; d'autre part, les cristaux ayant l'un des réseaux servant à caractériser ces systèmes, mais dont le réseau se rapproche beaucoup d'un réseau cubique.

Mais il existe toute une catégorie de cristaux que l'on ne peut faire rentrer dans ce groupe. Ce sont les cristaux ayant un réseau sénaire, car il est impossible de comparer un réseau sénaire à un réseau cubique. Ces cristaux ont les éléments de symétrie d'une forme cristalline considérée comme appartenant à l'un des systèmes suivants : système sénaire, système ternaire, système terbinaire, système binaire et système asymétrique. Par analogie avec ce qui se passe dans le groupe précédent, il est naturel d'admettre qu'à côté de ces cristaux à réseau sénaire, il en existe d'autres ayant un réseau terbinaire, ou un réseau binaire, ou un réseau asymétrique (mais non un réseau ternaire), ces

Digitized by Google

réseaux se rapprochant beaucoup d'un réseau sénaire. Tous ces corps sont également presque isotropes; mais on ne peut plus interpréter ce fait cristallographiquement par comparaison avec les plans symétriques, puisque ceux-ci sont simplement uniaxes. On peut seulement exprimer que ces cristaux sont à peu près uniaxes, en exprimant que deux de leurs paramètres sont sensiblement comme 1 et $\sqrt{3}$ ou $\sqrt{2}$ et $\sqrt{6}$. Quant au troisième paramètre, quelle doit être sa valeur pour que le corps soit sensiblement isotrope? cette valeur est-elle variable d'un corps à l'autre? est-elle constante et égale à $\sqrt{3}$, comme dans les corps cubiques? La théorie ne fournit aucune réponse, et l'observation pourra seule nous donner une solution de la question.

En résumé, les corps cristallisés se répartiraient en deux grands groupes : l'un comprimant les corps cubiques et les corps presque cubiques, l'autre les corps hexagonaux ou presque hexagonaux.

DES ANOMALIES OPTIQUES.

Si l'on rencontre tant de difficultés, lorsque l'on aborde l'étude des anomalies optiques, cela tient en grande partie, je crois, à l'absence de définition précise des phénomènes qu'il s'agit d'expliquer. Il n'est évidemment pas question, ici, des anomalies provenant d'irrégularités de structure susceptibles de se produire lorsque les conditions qui président à la cristallisation sont défavorables ; ces anomalies se reconnaissent à ce fait qu'elles ne sont qu'accidentelles et au manque de fixité dans leurs caractères. Les anomalies qu'il s'agit d'expliquer ont, au contraire, des caractères constants et s'observent toujours dans une même espèce; on peut les définir de la façon suivante: Un cristal présente des anoma-

Digitized by Google

lies optiques, lorsque ses propriétés optiques sont identiques à celles que l'on rencontre habituellement dans les cristaux appartenant à un système cristallin de symétrie inférieure à celle du système cristallin que caractérisent les formes cristallines du cristal considéré. C'est ainsi que la boracite et une variété de fluorine présentent des anomalies optiques parce qu'elles sont biaxes, quoique possédant des formes cristallines cubiques; il en est de même d'une autre variété de fluorine, qui est optiquement uniaxe, quoique cubique par ses formes cristallines.

Cette définition nous amène à appeler l'attention sur une confusion que l'on devait naturellement faire au début. Il ne faut pas confondre les anomalies, telles qu'elles viennent d'être définies, avec les anomalies *apparentes* que l'on attribuait à certains cristaux par suite de l'ignorance où l'on se trouvait de leurs véritables formes cristallines.

C'est ainsi que la leucite n'offre pas d'anomalies optiques; car, si elle est biaxe, d'autre part ses formes cristallines sont celles d'un cristal orthorhombique; il n'y a donc rien d'anormal dans ses propriétés optiques. Si on lui attribuait des anomalies optiques, c'est que l'on rapportait à tort ses formes cristallines au système cubique, et il est facile de comprendre pourquoi. Les cristaux de leucite que l'on étudiait s'étaient formés à une température élevée où la leucite est isotrope et cubique; ces cristaux, en se formant, se trouvaient naturellement limités par une forme cristalline cubique, le trapézoèdre. En se refroidissant, les cristaux s'étaient transformés en un grand nombre de cristaux biaxes orthorhombiques, mais comme les facettes de ces derniers ne font que des angles très petits avec les faces du trapézoèdre, un premier examen avait fait croire à la persistance des faces du trapézoèdre, faces qui, en réalité, avaient disparu. Pour éviter cette erreur, il aurait fallu mesurer les angles de

Digitized by Google

cristaux isolés analogues à ceux obtenus par MM. Fouqué et Michel Levy. Autrement dit, au point de vue des phénomènes optiques, la leucite est tout à fait comparable à l'aragonite ; celle-ci, comme on le sait, forme des prismes hexagonaux par l'association de trois cristaux se pénétrant plus ou moins intimement; ces prismes sont biaxes, et cependant on n'a jamais songé à leur attribuer des anomalies optiques; c'est que l'aragonite se produit directement avec ses formes propres et que, par suite, on a pu constater sans difficulté qu'elle était orhorhombique.

Le problème que l'on devait se poser, relativement à ces deux corps, ne concerne donc pas leurs propriétés optiques, mais leurs formes cristallines. Il fallait expliquer ce que l'on aurait pu appeler leurs anomalies cristallines, expliquer pourquoi, malgré leur symétrie orthorhombique, ces corps donnent naissance à des cristaux ayant des apparences soit cubiques, soit hexagonales. C'est ce qu'a fait Mallard en montrant que ces apparences étaient dues à des macles autour d'éléments de symétrie limites jouant le rôle d'éléments de symétrie déficients dans les corps à structure mériédrique. En ce qui concerne la leucite et l'aragonite, j'aurai d'ailleurs, à propos du polymorphisme, l'occasion de rechercher l'origine de ces éléments de symétrie limites.

Revenons maintenant aux cristaux présentant de véritables anomalies optiques. Dans ces cristaux, l'examen des formes cristallines d'une part, des phénomènes optiques de l'autre, conduisent à des conclusions contradictoires, en ce qui concerne la nature du système cristallin.

Cette contradiction disparait, si l'on fait appel à la considération des formes mériédriques. Elle n'existe, en effet, que par suite de cette convention qui consiste à n'admettre, parmi les formes mériédriques, que celles possédant une

Digitized by Google

symétrie supérieure à celle du système cristallin de symétrie inférieure. Cette convention, comme je l'ai dit précédemment, ne repose sur aucune autre raison que l'habitude d'en agir ainsi ; elle doit donc être rejetée, et les contradictions désignées sous le nom d'anomalies optiques disparaissent.

Si un cristal biaxe présente des formes du système cubique, c'est que son réseau est cubique, mais qu'il ne possède qu'une partie des éléments de symétrie de ce réseau, axes binaires et plans de symétrie.

Cette explication n'est admissible que si la recherche des éléments de symétrie de l'édifice cristallin démontre que cet édifice est bien mériédrique, et qu'il existe, entre ses éléments de symétrie et ceux de son ellipsoïde d'élasticité optique, les relations de position et de grandeur qui doivent nécessairement exister. C'est ce que l'expérience et l'observation ont toujours vérifié.

Comme on le voit, grâce à cette explication, les anomalies optiques disparaissent ; les cristaux, présentant de soi-disant anomalies optiques, sont constitués comme les autres ; leur structure satisfait aux mêmes lois, aux mêmes règles que la structure des autres cristaux. Leur étude rentre dans l'étude générale des corps cristallisés, et il devient inutile de leur attribuer un chapitre spécial dans la théorie des propriétés de ces corps.

Cette explication a, en outre, l'avantage de faire tomber une objection formulée principalement par les auteurs allemands contre toute théorie ayant pour but d'expliquer les anomalies optiques en s'appuyant sur la structure cristalline. Des phénomènes optiques déterminés se rencontrent presque toujours associés à une même forme cristalline, et par conséquent, dit-on, c'est à la forme cristalline que l'on doit faire remonter la cause première de ces phénomènes optiques. Cette objection tombe d'elle-même, si l'on se rap-

Digitized by Google

pelle la remarque faite plus haut sur les faces dominantes des formes mériédriques. La nature de la face dominante et la nature des phénomènes optiques découlent toutes deux de la symétrie de l'édifice cristallin et, par suite, doivent se trouver associées d'une façon sinon constante, puisque la conclusion relative à la face dominante n'est pas absolue, du moins presque constante.

Enfin la considération des formes mériédriques nous amène à cette conclusion que les cristaux présentant des anomalies optiques doivent être presque toujours maclés et que cette macle peut présenter des aspects fort différents, suivant que tel ou tel élément déficient s'associe aux éléments du cristal pour déterminer la symétrie de cette macle. On ne devra pas oublier que, dans celle-ci, les cristaux ne sont pas toujours simplement juxtaposés, mais que souvent ils se pénètrent très intimement ; de cette pénétration résultent, en apparence, de grandes variations dans les propriétés optiques, puisque l'on n'observe plus les propriétés d'un cristal simple, mais celles de superpositions fort variables, d'un point à un autre.

Je terminerai en faisant remarquer que l'explication que je viens de développer ne diffère pas au fond de la seconde théorie de Mallard. Dans son premier mémoire de 1876, Mallard ne considérait que le cas des anomalies apparentes ; pour lui, on attribuait aux cristaux des formes cristallines différentes de celles qu'ils possédaient en réalité, d'où contradiction entre cette forme cristalline et les phénomènes optiques. Mais cette théorie ne concordait pas avec les résultats fournis par la mesure des angles des faces ; aussi, dans l'article publié en 1887, par *la Revue scientifique*, Mallard fait appel à une notion nouvelle, la pseudo-symétrie ; un cristal est pseudo-symétrique quand la symétrie de la cellule est supérieure, ou à peu près supérieure à celle de la molé-

Digitized by Google

cule. Comme on le voit, cette pseudo-symétrie est, dans le premier cas, identique à l'ancienne notion de mériédrie, généralisée comme je l'ai indiqué plus haut; mais il n'en est plus de même dans le second. Aussi, en créant cette notion nouvelle, et en ne faisant aucune allusion à la mériédrie, Mallard, brisait le véritable lien, réunissant les cristaux à anomalies optiques aux autres cristaux; il faisait de ceux-là des cristaux constitués d'une façon spéciale et perdait par cela même le bénéfice de leur rapprochement des formes mériédriques ordinaires, pour en expliquer certaines particularités.

DES MÉLANGES ISOMORPHES.

Depuis la découverte de l'isomorphisme par Mitscherlich, on a beaucoup discuté sur la portée scientifique de la définition donnée par lui de ce phénomène. On trouvera, dans le tome IX de ce *Bulletin* une discussion très approfondie de la question dans trois articles dus à MM. Ch. Friedel, Mallard et Wyrouboff. De cette discussion résulte clairement que, si l'on s'accorde à trouver défectueuse la définition de Mitscherlich, il est fort difficile de lui en substituer une autre satisfaisant à tous les désidérata. Suivant que l'on attache plus ou moins d'importance à l'une ou à l'autre des propositions contenues dans la définition de Mitscherlich, on est amené à modifier cette définition dans un sens ou dans l'autre. Mais, comme je me propose uniquement de rechercher la structure que l'on doit attribuer aux mélanges isomorphes pour expliquer leurs propriétés physiques, il me suffit de considérer ces mélanges sans me préoccuper de savoir si les composants ont même forme cristalline et composition chimique semblable. Il s'agit donc

Digitized by Google

ici de corps cristallisés résultant de la cristallisation simultanée de deux corps, susceptibles, pour ce faire, de se mélanger en proportions variables.

Il est à remarquer, tout d'abord, que les cristaux résultant du mélange de deux corps isomorphes jouissent absolument de toutes les propriétés sur lesquelles on s'appuie pour définir l'état cristallin, et que, par suite, on ne peut, sous quelque prétexte que ce soit, leur attribuer une structure différente de celle admise pour les cristaux d'une substance unique. On doit donc, en employant le langage de Bravais, les considérer comme constitués de particules complexes, orientées parallèlement, dont les centres de gravité coïncident avec les nœuds d'un réseau. Le seul problème que soulève l'étude des mélanges isomorphes consiste donc à déterminer les rapports existants entre le réseau du mélange et ceux des corps mélangés, entre la particule complexe du premier et les particules complexes du second.

L'étude des propriétés physiques du mélange et leur comparaison avec les propriétés de cristaux simples peuvent seules évidemment fournir la solution de ce problème. Jusqu'en ces dernières années, le nombre des mélanges étudiés étant très restreint, on n'avait à sa disposition que fort peu de données, et l'on crut pouvoir admettre la loi la plus simple, celle de la proportionnalité pour relier les constantes physiques du mélange, d'une part à celles des corps mélangés, et de l'autre aux quantités de ces corps. Cette loi était séduisante non seulement par sa simplicité, mais encore par la simplicité de son interprétation. Elle revenait, en effet, à dire que les édifices cristallins des corps mélangés se conservaient dans le mélange avec toutes leurs propriétés, et c'est sous cette dernière forme qu'elle servit de base aux théories de Mallard. Les mélanges isomorphes se

Digitized by Google

présentaient comme une exception parmi les mélanges moléculaires dont les propriétés physiques sont toujours reliées à celles des corps mélangés par des fonctions très complexes. Cette exception disparaît aujourd'hui, grâce aux mesures plus nombreuses et plus précises, et l'on peut se rendre compte que la loi de proportionnalité n'est qu'une loi approchée bien suffisante évidemment, dans certains cas, pour relier les observations, mais qui ne saurait être généralisée.

Il est nécessaire de s'occuper successivement du système réticulaire du mélange et de sa particule complexe.

Sur le premier point, on n'a malheureusement que fort peu de renseignements ; deux cas seulement, je crois, ont été étudiés avec assez de soins pour intervenir utilement dans la question.

Le premier est celui des perchlorate et permanganate de potasse, étudiés par M. Groth (1). Le savant professeur de Munich a obtenu trois mélanges cristallisés présentant les faces *m* du prisme orthorhombique et deux dômes dont il désigne les faces par les lettres *r* et q^2. Ces faces font entre elles les angles contenus dans le tableau suivant où $A = KClO^4$ et $B = KMnO^4$.

	mm	*rr*	q^2q^2
A	103° 57′ 7	101° 22	104° 0
A + $\frac{1}{3}$ 0/0 de B	104° 43	101° 31	103° 7
11A + B	104° 7	101° 10	104° 4
11A + 2B	103° 50	101° 34	103° 59
B	102° 51	101° 42	104° 49

La connaissance de ces angles permet de calculer les

(1) Groth, Beitrage zur Kenntniss der über chlosauren und übermangansauren Salze (*Ann. d. Phys. und Chemie*, 1868).

Digitized by Google

paramètres des cristaux, et on obtient :

A	0,7819	1	0,6396
A + $\frac{1}{3}$ 0/0 de B	0,7704	1	0,6298
11A + B	0,7797	1	0,6408
11A + 2B	0,7839	1	0,6398
B	0,7974	1	0,6498

Quoique très incomplets, puisque la série ne comprend que trois mélanges, ces résultats suffisent cependant pour se faire une idée nette de la loi de variation des éléments du système réticulaire. Celui-ci, comme on le sait, est déterminé par six éléments, les angles que font entre elles trois rangées conjuguées et les paramètres de ces trois rangées ; les tableaux précédents nous montrent qu'aucun de ces éléments ne varie proportionnellement aux quantités des corps mélangés. Bien plus, pour certaines proportions de ces derniers, leurs valeurs ne sont pas comprises entre les valeurs de ces éléments dans les corps simples. Si l'on considère, par exemple, l'angle des deux faces du prisme *m*, angle que l'on peut considérer comme étant celui de deux rangées conjuguées, on voit qu'en partant du perchlorate de potasse il augmente jusqu'à un maximum, pour diminuer ensuite, redevenir égal à celui du perchlorate et se rapprocher de celui du permanganate. Les paramètres varient de la même façon.

On voit donc que la loi de variation est absolument identique à celle observée par M. Lala (1), dans l'étude de l'élasticité des mélanges gazeux. La compressibilité d'un mélange d'air et d'acide carbonique, tant que la proportion de ce dernier ne dépasse pas 22 0/0, reste comprise entre

(1) Lala, *Recherches expérimentales sur l'élasticité des mélanges gazeux.*

Digitized by Google

celle des deux gaz ; puis, la proportion d'acide carbonique augmentant, on voit la compressibilité du mélange augmenter, devenir égale à celle de l'acide carbonique puis, pour une certaine proportion la dépasser, passer par un maximum, puis diminuer pour redevenir égale à celle de l'acide carbonique, quand celui-ci reste seul. Dans le mélange d'air et d'hydrogène, quand la proportion de ce dernier augmente, c'est l'inverse qui a lieu, c'est-à-dire que la compressibilité, d'abord intermédiaire, diminue de façon à devenir égale à celle de l'hydrogène, puis inférieure à cette dernière, passe par un minimumet, augmentant, redevient égale à celle de l'hydrogène.

Un autre fait, à rapprocher de ceux que nous devons à M. Groth, nous est offert par les alliages de métaux, dont la température de fusion ne varie pas, comme on le sait, proportionnellement aux quantités des métaux mélangés. Le meilleur exemple à citer est celui des alliages de cuivre et d'argent. Le cuivre fond à 1.330°, et, si on lui ajoute de l'argent, la température de fusion s'abaisse de telle sorte que, pour une proportion de 35 d'argent, elle est à peu près égale à 1.040°, c'est-à-dire à la température de fusion de l'argent ; puis, la proportion d'argent augmentant, elle continue à baisser et passe par un minimum égal à 847° pour 63 0/0 d'argent; elle se relève ensuite pour remonter à 1.040° lorsque l'argent se trouve seul.

Nous devons à M. Dufet (1) des mesures de la plus grande précision sur les variations du système réticulaire dans les mélanges isomorphes de sulfate de zinc et de sulfate de magnésie. M. Dufet a principalement mesuré les angles *mm* et $g^1b^{1/2}$ dans sept mélanges; les résultats sont réunis dans le tableau suivant où Mg et Zn représentent le sulfate de

(1) Dufet, Sur la variation de forme cristalline dans les mélanges isomorphes (*Bull. de la Société minér.*, t. XII).

Digitized by Google

magnésie et le sulfate de zinc, et les nos 1, 2, ..., 7, les mélanges dans l'ordre où la teneur en sulfate de zinc augmente.

	mm	$g^1b^{1/2}$
Mg	90° 35′	116° 19′ 30
1	90° 42′ 30	116° 17′
2	90° 45′	116° 15′ 30
3	90° 49′	116° 13′ 15
4	90° 52′	116° 13′ 30
5	90° 56′ 30	116° 11′
6	90° 59′	116° 11′ 30
7	91° 6	116° 7′
Zn	91° 12′	116° 6′

Comme le montre M. Dufet, en tenant compte des quantités des deux corps entrant dans les mélanges, l'angle *mm*, que l'on peut considérer comme l'angle de deux rangées conjuguées, croît à peu près proportionnellement à ces quantités. Mais, pour connaître les variations véritables du système réticulaire, il faut savoir comment varient les paramètres de ces rangées. Les paramètres déduits des angles *mm* et $g^1b^{1/2}$ sont :

Mg	1,7328	1	1,7505
1	1,7321	1	1,7535
2	1,7328	1	1,7556
3	1,7338	1	1,7586
4	1,7316	1	1,7580
5	1.7326	1	1,7624
6	1,7302	1	1,7602
7	1,7331	1	1,7667
Zn	1,7308	1	1,7674

Je ne pense pas que l'on soit en droit de retenir toutes les variations relatives indiquées par ce tableau ; les valeurs

Digitized by Google

extrêmes de l'angle $g^1b^{1/2}$ ne diffèrent que de 13′ 30″; il n'était par suite pas possible, malgré toute la précision apportée aux mesures, d'éviter de petites erreurs ayant une importance relative trop considérable. Mais, en ne tenant compte que des variations d'allure générale, on voit facilement que, si le second paramètre croît d'une façon continue, le premier, au contraire, présente un maximum dans le voisinage du n° 3. Autrement dit, il varie suivant la même loi que les paramètres des mélanges de perchlorate et de permanganate de potassium.

Il n'en résulte pas moins de cette étude des sulfates que certains éléments du réseau, et par suite, dans certains cas, tous les éléments, peuvent varier suivant une loi se rapprochant beaucoup de la proportionnalité.

L'analogie est donc complète entre les mélanges isomorphes et les autres mélanges moléculaires. Les variations des éléments du système réticulaire sont représentées d'une façon générale par un arc d'hyperbole, qui, dans certains cas, se rapprochent suffisamment d'une droite pour que l'on puisse admettre la proportionnalité ; mais l'expérience peut seule nous apprendre quels sont ces cas, et l'on n'a nullement le droit d'admettre *a priori* la loi de proportionnalité.

Il nous faut maintenant examiner la seconde partie du problème et rechercher les rapports existant entre la particule complexe du mélange et les particules complexes des corps mélangés.

En général, les corps isomorphes possèdent la même symétrie et on retrouve celle-ci dans leurs mélanges cristallisés. Comme, en outre, on croyait pouvoir admettre que les propriétés physiques des mélanges étaient la moyenne des propriétés correspondantes des corps mélangés, on était naturellement amené à donner, relativement à la structure des mélanges, l'explication fort simple suivante : Les particules complexes des deux corps ayant la même symétrie peuvent

Digitized by Google

se substituer les unes aux autres dans un même édifice cristallin, et un mélange isomorphe doit être considéré comme constitué par les particules complexes des deux corps réparties dans les mailles d'un même système réticulaire. Or il est facile de voir que cette conception est en désaccord avec la théorie et avec les faits d'observation. Et en effet, pour qu'un édifice cristallin possède un élément de symétrie, il ne suffit pas que le système réticulaire et les particules complexes possèdent cet élément, il faut encore que toutes les particules soient identiques, de façon à pouvoir se substituer les unes aux autres par l'intermédiaire de cet élément. Or les particules de deux corps ne sont jamais identiques, comme le prouve la déformation du système réticulaire. On voit donc que la disparition des éléments de symétrie serait la conséquence immédiate de cette structure, attribuée aux mélanges isomorphes.

D'autre part, on comprend facilement, d'après ce qui a été dit sur les systèmes réticulaires, que les variations des constantes physiques dépendant du système réticulaire ne peuvent être, *d'une façon générale*, considérées comme proportionnelles aux variations des quantités de corps mélangés. Dans un mélange de sulfate de zinc et de sulfate de magnésie, l'angle des axes optiques varie bien, comme l'a montré M. Dufet (1), proportionnellement aux teneurs en chacun des deux sels ; il en est de même des indices des mélanges de sulfite de plomb et de sulfite de strontiane, comme cela résulte des mesures de M. Andreas Fock (2).

Mais le même auteur a montré qu'il n'en était plus de même pour les indices des mélanges d'alun de potassium et d'alun de thallium, pour les indices et l'angle des axes optiques des mélanges de sulfate et de chromate de magné-

(1) Dufet, *Bull. de la Soc. minér.*, t. III.
(2) Andreas Fock, *Zeitschr. f. Krystall. u. Min.*, vol. IV.

Digitized by Google

sie. J'ai montré moi-même que l'angle des axes optiques des feldspaths n'était pas non plus assujetti à cette loi. La loi de proportionnalité ne saurait donc être considérée que comme une loi suffisamment approchée dans certains cas et ne peut servir de base à une explication générale de la structure des mélanges isomorphes.

D'ailleurs, on connaît aujourd'hui des mélanges dont la particule complexe ne présente pas la même symétrie que les particules complexes des corps mélangés. Il ne sera pas inutile d'en rappeler ici deux cas principaux.

On sait que le chlorate de soude et le bromate de soude cristallisent dans le système terquaternaire et possèdent comme éléments de symétrie $3A^2$, $4L^3$; tous deux jouissent de la propriété de faire tourner le plan de polarisation.

M. R. Brauns (1) a étudié les cristaux provenant d'une dissolution contenant 20 grammes de bromate pour 100 grammes de chlorate et résume ses observations de la façon suivante. « Les cristaux réguliers, mélanges de chlorate et de bromate de soude, sont optiquement biaxes. Par chaque face cubique d'un cristal, formé de couches concentriques, sortent, normalement à la face, quatre axes optiques. L'angle interne des axes optiques est de 90°. Une bissectrice de l'angle des axes optiques est toujours perpendiculaire à la face du rhombododécaèdre, sur laquelle les deux axes optiques sont symétriquement et également inclinés, et les deux bissectrices d'un angle d'axes optiques se trouvent dans la face du cube, qui est perpendiculaire aux deux autres par lesquelles sortent les axes optiques. Il en résulte que, dans une face du cube, deux axes d'élasticité coïncident avec les diagonales de cette face, de telle sorte que, dans trois faces

(1) R. Brauns, Ueber Polymorphie und die optischen Anomalien von chlor- und bromsauren Natron (*Neues Jahrbuch. f. Mineral., Geol. u. Paleont.*, 1898).

Digitized by Google

n'appartenant pas à la même zone, trois axes d'élasticité du même nom aboutissent au même sommet. La lumière, qui, dans les cristaux de chacune des substances, est polarisée circulairement, est polarisée elliptiquement dans les cristaux biréfringents et biaxes du mélange. Ces derniers cristaux nous offrent le premier exemple de polarisation elliptique dans des cristaux accrus librement, qui acquiert cette propriété pendant leur croissance et non postérieurement par l'action de forces extérieures, comme le quartz, par action mécanique. »

La singularité des propriétés décrites par M. Brauns m'a déterminé à reprendre cette étude, et il m'a été facile de me convaincre, comme cela d'ailleurs résultait des figures de M. Brauns, qu'en réalité ces cubes étaient formés de six cristaux maclés. Ces cristaux ont la forme de pyramides, dont les sommets coïncident approximativement avec le centre du cube et dont les bases sont les faces du cube. Chacune de ces pyramides est un cristal biaxe dont les axes d'élasticité coïncident avec la normale à la face du cube et avec les diagonales de cette face. Mais les axes optiques, contrairement à ce que dit M. Brauns, ne sont pas normaux aux deux autres faces adjacentes du cube. Si, en effet, on place une lame taillée dans un de ces cubes sous le microscope polarisant par l'intermédiaire de la platine de M. Klein, orientée de façon que son axe horizontal soit perpendiculaire au méridien NS du microscope, de telle sorte que les bases de deux pyramides opposées soient perpendiculaires à cet axe, on constate que ces pyramides ne sont pas éteintes. On ne peut pas les éteindre simultanément en inclinant la lame sur l'axe du microscope. On les éteint l'une après l'autre par deux inclinaisons successives de 4° environ sur l'axe du microscope, inclinaisons comptées en sens inverse relativement à cet axe. Autrement dit il y a

Digitized by Google

une distance angulaire de 8° entre les deux extinctions, et l'angle extérieur des axes optiques est de 82° ; cet angle diminue, d'ailleurs, quand on augmente la proportion de bromate de soude dans le mélange.

Pour déterminer la symétrie de ces cristaux, il m'a fallu employer la méthode des figures de corrosion, la seule applicable dans le cas présent. Sur les faces du cube, c'est-à-dire sur les bases des pyramides, ces figures ont la forme de pyramides représentées dans la figure 2: tantôt ces pyra-

Fig. 2.

mides ont pour base un parallélogramme dont les côtés ne sont pas parallèles à ceux de la face ; tantôt les arêtes latérales de ces pyramides présentent une petite troncature ; dans certaines, enfin, le sommet est remplacé par une facette rectangulaire parallèle à la face du cube. Comme on le voit, ces figures ne décèlent qu'un axe binaire perpendiculaire à la base de la pyramide, c'est-à-dire coïncidant avec l'axe quaternaire du système réticulaire.

Ces pyramides ne peuvent évidemment posséder d'autre élément de symétrie ; ils ne peuvent en particulier avoir de centre, car deux pyramides opposées par le sommet appartiendraient au même cristal et seraient orientées parallèlement au point de vue optique, ce qui n'a pas lieu. D'ailleurs, j'ai obtenu des figures de corrosion sur une facette parallèle à l'axe binaire et à un axe d'élasticité optique ; pour obtenir cette facette, j'ai usé à la lime une arête du cube de façon à obtenir grossièrement une face parallèle à b^1 et, replongeant le cristal dans le milieu cristallisant ce cristal s'est

Digitized by Google

cicatrisé, et j'ai obtenu une véritable face b^1. Il m'a suffi, alors d'élever légèrement la température du liquide pour déterminer la formation des figures de corrosion sur cette face. Comme le montre la figure 3, ces figures de corrosion

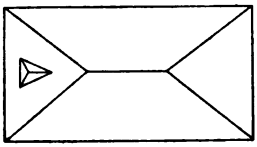


Fig. 3.

ont la forme de pyramides triangulaires dont une face, plus inclinée que les deux autres, est parallèle au côté de la base de la pyramide. Ces figures ne pourraient donc indiquer qu'un plan de symétrie passant par l'axe binaire, ce qui serait en contradiction avec la forme des figures obtenues sur la base.

Ces cristaux, ayant pour éléments de symétrie A^2, s'associent autour des axes ternaires du système réticulaire pour former une macle ayant pour éléments de symétrie $3A^2$, $4L^3$ et comprenant un nombre de cristaux égal à $\frac{12}{2} = 6$; dans chacun d'eux la face dominante est perpendiculaire au seul axe A^2 subsistant, c'est-à-dire coïncide avec la face du cube. Ces cubes sont donc identiques comme constitution aux cristaux de boracite décrits par M. Baumhauer.

Mais, dans cette macle comme dans beaucoup d'autres, chaque cristal peut englober des portions appartenant aux autres par leur orientation et, de cette superposition de parties orientées différemment, résulte une polarisation elliptique. Il est à remarquer que ces cristaux du mélange ne possèdent plus la polarisation rotatoire, comme je m'en suis assuré en examinant, à travers une lame demi-onde une

Digitized by Google

section homogène perpendiculaire à un axe optique. De cette étude résulte que, tandis que les particules complexes du chlorate et du bromate possèdent, comme éléments de symétrie, $3A^2$, $4L^3$, celle du mélange ne possède plus que A^2.

On peut citer comme second exemple celui du nitrate de plomb et du nitrate de baryte, qui, pris isolément, présentent comme éléments de symétrie, suivant les conditions de cristallisation, soit $3A^2$, $4L^3$, soit $3A^2$, $4L^3$, $6P$. Quand on les fait cristalliser ensemble, ils donnent naissance à des octaèdres biréfringents, se décomposant en huit pyramides ayant pour sommet le centre de l'octaèdre et pour base les faces de cet octaèdre. Au point de vue optique, chacune de ces pyramides est un cristal uniaxe dont l'axe optique coïncide avec l'axe ternaire du cube perpendiculaire à sa base. L'étude au moyen des figures de corrosion montre que deux pyramides opposées par le sommet appartiennent au même cristal ayant pour éléments de symétrie L^3, $3L^2$, C, $3P$. Ces cristaux s'unissent pour former une macle ayant pour éléments $3A^4$, $4L$, $6L^3$, C, $6P^2$, $3H$, et comprennent par suite un nombre de cristaux égal à $\frac{48}{12} = 4$, chacun d'eux étant subdivisé par les éléments déficients; comme toujours, la face dominante est perpendiculaire à l'élément de symétrie le plus élevé, c'est-à-dire à l'axe ternaire. Ainsi donc la particule complexe du mélange présente encore ici une symétrie différente de celle observée dans les corps mélangés.

De cette étude des particules complexes dans les mélanges isomorphes résulte donc que les particules complexes des corps mélangés ne se conservent pas dans le mélange. Il se forme une nouvelle particule qui, le plus souvent, présente la même symétrie que celles des corps mélangés, mais qui, dans certains cas, possède une symétrie différente.

Digitized by Google

Il nous est maintenant facile de nous faire une idée nette de la structure des mélanges isomorphes et de ses rapports avec la structure des corps mélangés. Les molécules de ces derniers possèdent, au point de vue mécanique, de grandes analogies, puisque, par leurs associations, elles donnent naissance à des particules fondamentales, qui sont susceptibles d'édifier des édifices cristallins ayant des propriétés très voisines. On conçoit donc facilement que ces molécules peuvent se substituer les unes aux autres dans la constitution d'une nouvelle particule fondamentale qui participera naturellement à un degré plus ou moins éloigné des propriétés des particules fondamentales des deux corps. Mais, dans l'état actuel de nos connaissances, il nous est impossible de calculer les propriétés de la particule mixte en fonction des propriétés des particules primitives; nous ne connaissons, en effet, que des résultantes d'action moléculaire, sans pouvoir déterminer ce qui revient à chaque molécule, et il nous est par suite impossible de faire intervenir cette action moléculaire dans le calcul des propriétés de la particule mixte. On n'en comprend pas moins de cette façon que cette particule mixte doit constituer des édifices cristallins qui, en général, auront des propriétés voisines de celles des deux édifices cristallins composés par les particules primitives. C'est ainsi que le système réticulaire devra différer peu des deux systèmes réticulaires, que la symétrie sera le plus souvent la même, sans que cependant il y ait là une nécessité. On voit que, dans cette façon de concevoir le rapport des mélanges isomorphes avec leurs composantes, il n'y a aucune différence au point de vue de la structure entre ces mélanges et les autres corps cristallisés; on n'est nullement obligé de faire appel à une tolérance de la nature permettant à deux édifices légèrement différents de se mélanger. Ces édifices, en réalité, n'existent plus; il s'en

Digitized by Google

forme un nouveau qui, par la nature même de ses éléments, doit participer plus ou moins aux propriétés des deux édifices primitifs.

Je dois faire remarquer, en terminant, que, d'après quelques lignes contenues, sans référence bibliographique, dans les *Éléments de Cristallographie physique* de M. Soret, M. Fock aurait déjà exprimé une opinion se rapprochant beaucoup de celle développée dans ce dernier alinéa.

POLYMORPHISME.

On définit généralement le polymorphisme comme une propriété possédée par certains corps de présenter deux ou plusieurs formes incompatibles entre elles. Cette définition, comme celle de l'isomorphisme, a donné lieu à de nombreuses discussions, comme on pourra s'en rendre compte en lisant l'intéressant article de M. Wyrouboff, contenu dans le tome VIII de ce recueil. Mais, à vrai dire, les divergences d'opinions sur la définition du polymorphisme sont d'une importance secondaire et reposent surtout sur une question de mots. Tant que l'on a fait intervenir la forme extérieure seule des cristaux, il n'y eut aucune difficulté ; mais, lorsque, recherchant la cause de ces modifications dans la forme, on fut amené à les attribuer à des modifications de structure, on s'aperçut que des modifications de structure analogues pouvaient ne pas entraîner de modification dans la forme extérieure, mais seulement dans la symétrie ; que, dans d'autres cas même, la symétrie restait la même et que les changements de structure n'étaient révélés que par des variations dans les autres propriétés physiques.

Dans ces derniers cas, il n'y a plus, à proprement parler, de polymorphisme, puisque la forme n'est pas modifiée, et

Digitized by Google

il y a lieu de se demander si l'on doit les comprendre dans la définition du polymorphisme. Mais la difficulté est facilement levée en créant une nouvelle expression pour réunir toutes les modifications de structure et en réservant celle de polymorphisme aux modifications des formes elles-mêmes, qui se produisent dans certains cas particuliers. Bien entendu, dans ce paragraphe, il est question du changement de structure sans aucune restriction, quels que soient les caractères nous permettant de les constater.

On sait depuis longtemps que, dans le cas du polymorphisme proprement dit, c'est-à-dire lorsqu'il y a multiplicité de formes cristallines, celles-ci se rapprochent beaucoup les unes des autres par la valeur de leurs angles ; ce que l'on exprime en disant que la forme la plus symétrique est une forme limite de celle qui l'est le moins. Ces faits sont trop connus pour qu'il soit nécessaire d'en citer des exemples. De là résulte immédiatement que les systèmes réticulaires des deux formes ne diffèrent que très peu l'un de l'autre et que la véritable différence réside dans une diminution des éléments de symétrie. Nous sommes donc amenés à nous demander s'il n'existerait pas de cas où les systèmes réticulaires seraient rigoureusement les mêmes et où la seule différence résiderait dans cette diminution de symétrie. Certains de ces cas ont déjà été constatés, lorsque la différence entre les symétries des deux formes est suffisante pour entraîner des modifications profondes dans les propriétés optiques ; tel est, par exemple, comme nous le verrons, le cas de la boracite. Mais on conçoit facilement que deux cristaux d'une même substance peuvent ne pas posséder la même symétrie et cependant présenter de grandes similitudes dans leurs propriétés physiques ; deux cristaux cubiques n'ayant pas la même symétrie, s'ils ont tous deux quatre axes ternaires, seront tous deux isotropes, et la différence de

Digitized by Google

symétrie peut facilement échapper. Pour nous rendre compte de la difficulté que l'on peut avoir à déterminer la symétrie d'un cristal donné, il est nécessaire de se rendre un compte exact de la valeur des trois méthodes employées dans ce but.

On attribue aux corps cristallisés la symétrie présentée par les formes cristallines de leurs cristaux. Mais on ne tient compte que de la symétrie de la forme cristalline la moins symétrique, et on étend ce résultat à tous les autres cristaux présentant des formes plus symétriques. On explique cette symétrie plus élevée par la superposition sur le même cristal de plusieurs formes mériédriques, symétriques les unes des autres. Cette extension peut être parfaitement juste, mais elle peut également être erronée, et on n'est nullement en droit d'affirmer *a priori* que deux cristaux, présentant des formes cristallines différentes, possèdent la même symétrie dans leur structure. Tout ce que l'on peut dire, c'est que chacun des cristaux ne possède pas une symétrie supérieure à celle de sa forme.

En second lieu, l'étude des propriétés optiques fournit des renseignements généralement incomplets sur la symétrie. Si le cristal est isotrope, il appartient au système cubique; s'il est uniaxe, il appartient soit au système cubique, soit à un système ayant un axe principal; enfin, s'il est biaxe, il rentre dans l'un quelconque des sept systèmes. Quelquefois l'étude de la dispersion permet de pousser un peu plus loin la détermination des éléments de symétrie; mais, en général, l'étude optique ne donne que des renseignements sur le degré de symétrie, sans permettre de préciser la nature exacte de cette symétrie. Quoi qu'il en soit, si deux cristaux d'une même substance appartiennent à deux des catégories précédentes, ou si, appartenant à la même catégorie, ils présentent des caractères optiques différents, tantôt

Digitized by Google

on admet le dimorphisme, tantôt on admet l'existence d'anomalies optiques, ce qui, d'ailleurs, n'explique rien. En réalité, il est bien évident qu'une différence dans les propriétés optiques ne peut être que la conséquence d'une différence dans la structure, c'est-à-dire d'un polymorphisme dans le sens général du mot.

La troisième méthode, qui, quoique empirique, fournit les renseignements les plus complets, est celle des figures de corrosion. On sait que les figures de corrosion qui se produisent sur une face ont les mêmes éléments de symétrie que cette face. Il en résulte que, si un cristal possède un plan de symétrie, toutes les faces et sections appartenant à la zone ayant pour axe la normale à ce plan doivent se couvrir de figures de corrosion ayant le plan pour plan de symétrie; la présence d'un plan de symétrie peut donc se contrôler d'une infinité de façons, au moyen de sections appartenant à la zone indiquée. Il en est de même de l'existence d'un centre de symétrie, puisque, sur une lame à faces parallèles orientées d'une façon quelconque, les figures obtenues sur les deux faces doivent être symétriques les unes des autres relativement à un point. Les axes de symétrie sont malheureusement moins bien déterminés, car les figures des seules sections normales à cet axe doivent le posséder. Or, dans certaines espèces minérales, des cristaux présentent des figures plus symétriques que celles observées sur d'autres. Les auteurs en tirent, suivant les cas, des conclusions différentes : tantôt, opérant comme pour la forme cristalline, on attribue à tous les cristaux la symétrie la moins élevée ; tantôt on considère les figures les moins symétriques comme des anomalies comparables, dit M. Baumhauer (1) aux anomalies optiques.

(1) Baumhauer, *Zeitschrift f. Kryst. u. Min.*, t. XXX.

Digitized by Google

Nous avons vu qu'il n'y a pas d'anomalies optiques, et tout porte à croire qu'il n'y a pas non plus de figures de corrosions anomales. Mais, en réalité, les méthodes employées pour déterminer les éléments de symétrie d'un corps cristallisé laissent une large marge à l'incertitude, et le fait d'étendre à tous les cristaux d'une espèce les résultats fournis par l'un de ces cristaux, a pour conséquence de laisser échapper les cas de polymorphisme de structure, qui, loin d'être une exception, doit être, au contraire, considéré comme une propriété générale des corps cristallisables. A mon avis, toute cause entraînant un changement dans la forme cristalline est *susceptible* d'entraîner un changement dans la structure. Il est à remarquer, en effet, que, tandis que le polymorphisme est accepté sans discussion pour les espèces obtenues dans les laboratoires, telles que soufre, azotate d'ammoniaque, etc., qui offrent jusqu'à quatre ou cinq formes, au contraire, quand il s'agit d'espèces naturelles, on ne l'accepte qu'avec répugnance, et cependant les conditions de cristallisation sont certainement très variées dans la nature, et il doit en résulter également des variations dans la structure.

Quelques exemples ne seront pas inutiles pour éclairer les notions générales précédentes et pour mettre en évidence les conditions auxquelles satisfont toujours les différents édifices cristallins d'une même espèce.

Le nitrate de plomb cristallise, comme on le sait, dans le système cubique avec $3A^2,4L^3$ pour éléments de symétrie. Il se présente presque toujours en octaèdres, résultant de la macle par pénétration de deux tétraèdres; autrement dit ces octaèdres se décomposent en huit pyramides ayant pour sommet commun le centre du cristal et pour base ses faces latérales. Les faces du dodécaèdre pentagonal s'observent assez fréquemment comme troncature. En outre, les figures

Digitized by Google

de corrosion sur les faces des tétraèdres affectent la forme de pyramide triangulaire indiquant la présence d'un axe ternaire. Mais les plans de symétrie de ces pyramides ne sont pas perpendiculaires sur les arêtes des tétraèdres ; ils font avec elles un angle déterminé, de signe contraire sur les deux tétraèdres, ce qui permet de distinguer les tétraèdres gauches des tétraèdres droits (1).

Or, si l'on fait évaporer très lentement une dissolution de nitrate de plomb de façon à obtenir en cinq ou six jours de petits cristaux de 2 millimètres de côté, ces cristaux présentent comme formes cristallines les faces du tétraèdre, du cube et d'un tétrahexaèdre. Suivant les conventions habituelles, cette dernière forme devrait être considérée comme résultant de la superposition de deux dodécaèdres pentagonaux. Or, si l'on fait naître des figures de corrosion sur les faces tétraédrales, on obtient toujours des pyramides triangulaires régulières ; mais, dans ce cas, les plans de symétrie de ces pyramides sont perpendiculaires sur les arêtes du tétraèdre ; il n'y a plus de tétraèdres gauches et de tétraèdres droits. De même les figures de corrosion obtenues sur toutes les faces tangentes aux arêtes du tétraèdre possèdent un plan de symétrie coïncidant avec l'un de ceux du tétraèdre. Il faut donc bien admettre que ces cristaux ont pour éléments de symétrie $3A^2$, $4L^3$, $6P$.

Je ferai remarquer que les deux sortes de cristaux ont la même densité, et qu'en outre, conformément à la loi de Glastan, ils ont sensiblement le même indice de réfraction.

La cuprite, également cubique, est considérée comme hémisymétrique, parce que Miers a observé de beaux hémihexoctaèdres, présentant un clivage parfait parallèlement aux faces du cube. Or, à Chessy, on trouve des octaèdres,

(1) L. Wulff, *Zeitschrift f. Kryst. u. Min.*, t. VI.

Digitized by Google

des rhombododécaèdres, qui ont un clivage imparfait, parallèlement aux faces de l'octaèdre et auxquels, par extension, on attribue les mêmes éléments de symétrie. Or, sur les faces du cube, on obtient, comme figures de corrosion, des pyramides quadratiques régulières dont les arêtes de base sont parallèles aux diagonales de la face du cube ; sur la face de l'octaèdre, des pyramides triangulaires régulières dont les plans de symétrie sont perpendiculaires sur les arêtes de l'octaèdre ; sur les faces du rhombododécaèdre, des pyramides à base losangique ayant deux plans de symétrie coïncidant avec ceux de la forme cristalline, etc. Il est donc bien certain que les cristaux de Chessy possèdent des plans de symétrie et sont, par suite, holoédriques.

Le chlorure de sodium cristallise généralement en cubes, et, sur certains, M. Gill a observé des figures de corrosion indiquant d'une façon certaine, comme M. Groth a bien voulu me le confirmer, une hémiédrie holoaxe. Or des cristaux de cette substance, obtenus par cristallisation lente et traités par l'alcool absolu, ont présenté des figures de corrosion de la plus grande netteté, démontrant l'existence de plans de symétrie, c'est-à-dire l'holoédrie.

Dans tous ces cristaux, la densité et le système réticulaire restent constants ; les éléments de symétrie seuls varient. Mais ceux-ci peuvent également se retrouver dans les différentes formes, et la variation de structure n'est indiquée que par une variation dans les propriétés physiques et, en particulier, dans les propriétés optiques.

Le quartz, par exemple, est polymorphe. On sait, en effet, qu'il possède la polarisation rotatoire tantôt gauche, tantôt droite, que dans d'autres cas il est neutre. Il y a donc là trois structures différentes. A un autre point de vue on sait, comme l'a montré M. Wyrouboff, que le système réticulaire du quartz est hexagonal. Or ce sont tantôt les axes binaires

Digitized by Google

de première espèce, tantôt ceux de la seconde espèce qui se retrouvent dans l'édifice cristallin ; les éléments constituants de certains cristaux ont subi une rotation de 30° autour de l'axe sénaire, relativement aux éléments des autres cristaux ; les propriétés optiques ne sont naturellement pas modifiées.

Un autre exemple est celui de l'orthose offrant deux variétés différant par l'orientation du plan des axes optiques, mais ayant même forme cristalline, même densité. Les indices de réfraction sont sensiblement les mêmes ; cependant, la réfringence étant faible, les variations dans la grandeur des indices sont suffisantes pour entraîner un changement dans les rapports de ces indices et déterminer une variation notable dans l'orientation du plan des axes optiques.

Mais les variations de grandeur des indices dans l'orthose sont si faibles que l'on conçoit sans peine la possibilité, dans certains cas, d'une orientation constante pour le plan des axes optiques. Et alors les modifications de structure passeront complètement inaperçues, si l'on n'a à sa disposition, comme moyens d'investigation, que l'étude des formes cristallines et des propriétés optiques.

Des exemples que nous venons de citer et de beaucoup d'autres cas, résultent deux faits : lorsqu'il y a polymorphisme de structure, ces modifications de structure ont toujours lieu de façon à ce que : 1° le système réticulaire reste le même ; 2° la densité ne change pas. Ce sont donc ces deux faits qui doivent servir de base à toute théorie géométrique du polymorphisme, en se réservant de montrer ensuite pourquoi, dans certains cas, il y a une légère déformation du système réticulaire, accompagné d'une variation de même ordre dans la densité.

Considérons d'abord le cas le plus simple, celui où le corps présente, dans ses différentes structures, les mêmes éléments

Digitized by Google

de symétrie. On sait que les positions des particules fondamentales d'un édifice cristallin se déduisent de la position de l'une d'elles, en donnant à celle-ci les mouvements de translation du système réticulaire et en prenant ses symétriques relativement aux différents éléments de symétrie. Mais l'orientation de la particule initiale autour de son centre de gravité est déterminée par ce fait que, dans l'édifice cristallin, les conditions d'équilibre doivent être satisfaites ; si pour un corps il y a deux orientations de cette particule pour lesquelles ces conditions sont satisfaites, il pourra, par cela même, donner naissance à deux édifices cristallins, ayant même système réticulaire, mêmes éléments de symétrie et même densité, mais ayant des structures différentes. Les constantes physiques de ces deux édifices ne seront pas identiques, quoique les ellipsoïdes d'élasticité optique diffèreront peu, et dans l'état actuel de nos connaissances il ne sera pas possible de déduire les constantes de l'un des constantes de l'autre.

Les deux édifices, ne différant que par l'orientation des particules, pourront se mélanger en portions *finies* dans un même cristal, où les systèmes réticulaires de l'un des édifices se confondront avec ceux de l'autre édifice ; c'est ce que l'on observe dans le quartz, l'orthose, le zoïsite (1), etc.

Considérons maintenant le cas plus complexe où les deux édifices cristallins, ayant mêmes systèmes réticulaires, même densité, n'ont pas les mêmes éléments de symétrie. Soient : A, le groupe d'éléments de symétrie du plan symétrique ; B, celui du second que nous supposerons d'abord mériédrique du groupe A ; a et b, les nombres d'orientations d'un corps quelconque dont on prend les symétriques relativement aux groupes A et B ; n, le rapport $\frac{a}{b}$ toujours entier. Dans l'édifice

(1) Termier, *Bull. de la Société minér.*, t. XXI.

Digitized by Google

cristallin, possédant les éléments de symétrie du groupe A, les particules fondamentales d'une particule complexe possèdent a orientations différentes. Ces a orientations peuvent se déduire de l'orientation de l'une des particules par plusieurs processus et, en particulier, de la façon suivante : En prenant les symétriques de la particule initiale relativement aux éléments du groupe A, n'intervenant pas dans le groupe B, on obtient ainsi n particules, et, en prenant ensuite les symétriques de ces n particules relativement aux éléments du groupe B, on obtient les $n.b = a$ particules.

Or supposons qu'avant d'effectuer cette dernière opération, les n particules tournent autour de leur centre de gravité, de façon à perdre leurs positions symétriques relativement aux éléments de symétrie du groupe A n'appartenant pas au groupe B; en prenant ensuite leurs symétriques relativement au groupe B, on obtiendra un nouvel édifice cristallin n'ayant plus que les éléments de symétrie du groupe B, mais ayant les mêmes systèmes réticulaires et la même densité que le premier édifice. La particule fondamentale du second édifice est constituée par n particules du premier, et naturellement les constantes physiques de l'un des édifices sont, en général, des fonctions très complexes et encore inconnues des constantes de l'autre.

Nous avons supposé que l'un des édifices était mériédrique de l'autre ; si ce n'est pas le cas, ayant le même système réticulaire, ils sont forcément mériédriques d'un troisième, duquel on peut les déduire séparément ; c'est ce qui a lieu pour la fluorine biaxe et la fluorine uniaxe, qui ne sont pas mériédriques l'une de l'autre, mais qui sont toutes deux mériédriques de la fluorine isotrope.

Il n'est pas inutile de rappeler que les cristaux ayant pour éléments de symétrie ceux du groupe B, sont mériédriques et, par suite, jouissent de la propriété de se macler

Digitized by Google

suivant la loi de Mallard, c'est-à-dire autour des éléments de symétrie déficients, de façon que la macle possède les éléments de symétrie du groupe A, et le nombre de cristaux entrant dans cette macle est précisément égal à n. Les cristaux ont pour arêtes communes les axes déficients et pour faces communes les plans de symétrie déficients ; mais, en outre, ils peuvent se pénétrer, et des portions finies de l'un d'eux se trouver au milieu des autres. De plus, si les deux édifices cristallins sont stables à la même température, des portions finies de ces deux édifices, ayant mêmes systèmes réticulaires, peuvent concourir à la formation d'un même cristal, de sorte que, dans une macle, on trouvera des portions de l'édifice le plus symétrique et de n cristaux maclés ; c'est ce que l'on observe dans les grenats, la fluorine, etc.

Il nous reste à expliquer pourquoi, dans certains cas, il y a une légère déformation du système réticulaire dans l'édifice le moins symétrique. Cette explication résulte immédiatement de ce que nous avons dit à propos de la rareté de certaines formes mériédriques. Tant que la symétrie du cristal est supérieure à celle du système réticulaire ayant une symétrie immédiatement inférieure à celle de son propre système réticulaire, les conditions auxquelles doivent satisfaire les actions mécaniques que les particules complexes exercent les unes sur les autres sont forcément remplies par simple raison de symétrie, en dehors de toute propriété spéciale des particules fondamentales, et il n'y a alors aucune déformation du système réticulaire. Mais, si la symétrie du cristal est celle d'un système réticulaire de symétrie inférieure à celle du sien propre, ces conditions d'équilibre ne se trouvent plus satisfaites uniquement par raison de symétrie ; elles doivent découler de propriétés spéciales de la particule fondamentale. Si ces propriétés font partiellement défaut à la particule, les con-

Digitized by Google

ditions ne seront plus rigoureusement satisfaites, et l'équilibre ne sera obtenu que grâce à une légère déformation du système réticulaire, *qui fait rentrer le cristal dans la règle générale*, déformation accompagnée d'une modification dans la densité. Naturellement cette déformation du système réticulaire, cette modification de la densité, peuvent entraîner des variations notables dans la valeur des autres constantes physiques et, en particulier, dans celles des indices de réfraction.

En conservant les notations données plus haut, on a vu que l'édifice cristallin B pouvait donner naissance à des macles comprenant n cristaux, c'est-à-dire un nombre, précisément égal à celui des groupes de particules fondamentales, de symétrie B, constituant l'édifice cristallin de symétrie A. Or, si l'on se rappelle que Mallard s'appuyait, pour expliquer la structure de l'édifice A, sur la considération des macles des cristaux de symétrie B autour des éléments de symétrie déficients du système réticulaire, on voit combien il s'était approché de la vérité par l'observation seule. Admettant que, dans un mélange isomorphe, les particules complexes des corps mélangés conservaient leur individualité, il comparait l'édifice A à un mélange isomorphe constitué par les particules complexes des édifices B symétriquement orientées par rapport aux éléments déficients. Or nous avons vu qu'il était impossible d'admettre que, dans un mélange isomorphe, les particules complexes des corps mélangés conservassent leur individualité et, en outre, le fait de conserver à la particule complexe de l'édifice B son individualité donne à la solution un caractère trop restreint pour qu'elle puisse s'appliquer à tous les cas. D'ailleurs Mallard, n'ayant pas à sa disposition les résultats que nous devons aux mathématiciens, avait dû se contenter d'exprimer des idées générales sur la question sans pouvoir la résoudre complètement. Cela résulte très clairement du seul exemple

Digitized by Google

qu'il eût approfondi et qui était destiné à montrer comment on peut passer du nitre orthorhombique au nitre rhomboédrique(1). Ce passage est nettement indiqué par la

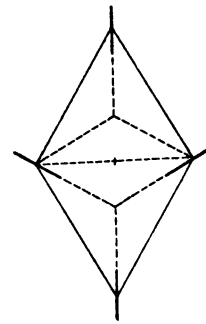


Fig. 4.

figure ci-jointe (*fig.* 4), qui représente un plan réticulaire perpendiculaire à l'axe hexagonal. On voit que le nitre rhombique a pour axe binaire l'axe sénaire; et le nitre rhomboédrique pour axe ternaire, non pas l'axe sénaire, mais l'axe ternaire passant par le centre de gravité des triangles équilatéraux qui, par leur juxtaposition, forment les mailles du plan réticulaire. Or, sur ces axes ternaires, il n'existe pas de centre du système réticulaire, les centres étant exclusivement situés sur les axes d'ordrepair; l'édifice cristallin ainsi constitué ne peut donc posséder de centre. Aussi Mallard lui-même dit-il : « Il n'est pas possible que le groupement que nous avons choisi comme le plus simple pour rendre compte du passage du nitre, de la forme rhombique à la forme rhomboédrique, soit précisément celui que réalise la nature. En effet, après ce groupement, si la particule a bien acquis un axe ternaire et trois plans de

(1) Mallard. Les groupements cristallins (*Revue scientifique*, 1887).

Digitized by Google

symétrie passant par cet axe, elle n'a pas acquis, comme il le faudrait, un centre de symétrie et trois axes binaires. »

En réalité, si nous désignons les éléments de symétrie du système réticulaire par les symboles Λ^6, $3L^2$, $3L'^2$, C, 3P', 3P, Π, le nitre rhombique a pour éléments de symétrie Λ^2, L^2, L'^2, C, P', P, Π, et le groupement proposé par Mallard, Λ^3, $3L^2$, 3P', Π. Cet exemple montre donc qu'au moyen de particules dissymétriques on peut constituer un édifice plus symétrique. Cela ne suffit pas : il faut, en réalité, montrer comment on peut passer d'un édifice ayant pour éléments de symétrie Λ^2, L^2, L'^2C, P', P, Π, à un autre édifice ayant pour éléments de symétrie Λ^3, $3L^2$, C, 3P. Or, avec un peu d'attention, on voit que, nécessairement, l'axe sénaire du système réticulaire doit être et l'axe binaire de la forme rhombique et l'axe ternaire de la forme rhomboédrique ; par suite, le centre du système réticulaire coïncidant avec le centre de la particule complexe orthorhombique doit également coïncider avec le centre de la particule complexe rhomboédrique. Il faut donc, dans le passage d'une forme à l'autre, que la particule complexe se dissocie pour permettre à ses éléments de constituer une autre particule complexe. Il n'est donc pas possible, comme on le voit, de considérer la forme rhomboédrique comme résultant du groupement de particules orthorhombiques.

Voyons quelle est exactement la solution : nous remarquerons d'abord que le système réticulaire est forcément sénaire et non pas ternaire, comme on le dit trop souvent ; que, par suite, la forme rhomboédrique et la forme orthorhombique sont toutes les deux des formes mériédriques d'une forme hexagonale de laquelle nous devons les faire dériver.

Considérons un domaine complexe de l'édifice holoédrique, au centre duquel se coupent les éléments de symétrie. Les plans de symétrie subdivisent ce domaine en vingt-

Digitized by Google

quatre parties, qui sont vingt-quatre domaines fondamentaux. En plaçant dans l'un d'eux une particule fondamentale et en prenant ses symétriques relativement aux éléments de symétrie du domaine, on obtient la particule complexe de l'édifice holoédrique; nous désignerons les vingt-quatre particules fondamentales constituant cette particule com-

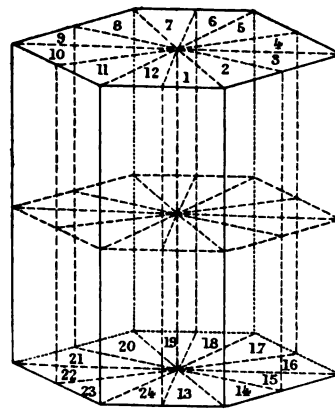


Fig. 5.

plexe par les chiffres 1, 2, ..., jusqu'à 24 (*fig.* 5). Pour passer de l'édifice holoédrique à l'édifice mériédrique ayant pour éléments de symétrie A^3, $3L^2$, C, 3P, il suffit de remarquer que, dans ce cas, le chiffre n est ici égal à $\frac{24}{12} = 2$, et en effet on voit, sur la figure, que les deux groupes de particules désignées, d'une part par les chiffres pairs, de l'autre par les chiffres impairs, ont tous deux les éléments de symétrie indiqués plus haut et sont symétriques l'un de l'autre par rapport aux éléments déficients, c'est-à-dire A^2, $3L'^2$, 3P', II. Il suffit donc de supposer que les particules 1 et 2, par exemple, tournant autour de leur centre de gravité, retrouvent une

Digitized by Google

position d'équilibre, et de prendre leurs symétriques relativement au groupe de symétrie hémiédrique pour obtenir un édifice n'ayant plus pour éléments de symétrie que Λ^3, $3L^2$, C, 3P. Dans ce cas, bien entendu, par simple raison de symétrie, les conditions auxquelles doivent satisfaire les actions qu'exercent les particules complexes seront satisfaites, et il ne se produira aucune déformation du système réticulaire.

Si maintenant on veut passer à l'édifice mériédrique ayant pour éléments Λ^2, L^2, L'^2, C, P, P', Π, on remarque que le nombre n est égal à $\frac{24}{8} = 3$ et qu'en effet les trois groupes de particules désignés par les chiffres

1	6	7	12	13	18	19	24
2	5	8	11	14	17	20	23
3	4	9	10	15	16	21	22

présentent respectivement les éléments de symétrie indiqués plus haut et sont symétriques les uns des autres relativement aux éléments déficients. Si donc les particules 1, 2, 3, tournent autour de leurs centre de gravité, et si l'on prend ensuite leurs symétriques relativement aux éléments Λ^2, L^2, L'^2, C, P', P, Π, on obtiendra un édifice ayant ces mêmes éléments de symétrie. Mais, dans ce cas, les conditions auxquelles doivent satisfaire les actions des particules complexes ne sont plus remplies par raison de symétrie, mais en conséquence de propriétés particulières des particules fondamentales; il pourra donc se produire une légère déformation du système réticulaire ; c'est ce qui a lieu pour le nitre orthorhombique.

On voit, par cet exemple du nitre, combien le passage d'une forme à l'autre s'effectue simplement, grâce à la consi-

Digitized by Google

dération des domaines fondamentaux que nous devons à M. Schœnfliess.

EXEMPLES.

Je n'ai pas l'intention de reprendre l'étude de tous les corps offrant soit le phénomène du polymorphisme, soit les phénomènes désignés sous le nom d'anomalies optiques. Je voudrais simplement montrer, par quelques cas complètement étudiés, combien sont fortes les présomptions en faveur des idées développées dans les paragraphes précédents. Jusqu'ici, en effet, on ne s'est pas attaché à déterminer par voie directe la symétrie des corps cristallisés soumis à l'étude. Le plus souvent cette symétrie a été déduite des rapports de position entre l'ellipsoïde d'élasticité optique et la forme cristalline : si le cristal biaxe présente un axe d'élasticité optique perpendiculaire à une face, on le considère comme orthorhombique, si seul un plan d'élasticité est perpendiculaire sur cette face, le cristal est classé parmi les cristaux monocliniques ; etc. Il y a de fortes présomptions en faveur de ces conclusions, grâce à la remarque faite précédemment que les faces dominantes sont généralement perpendiculaires soit sur un axe de symétrie, soit sur un plan de symétrie. Mais il n'y a là que des présomptions et non une démonstration. Il n'est donc pas inutile de combler la lacune par quelques exemples.

Boracite. — L'exemple de la boracite est d'autant plus précieux qu'il a été étudié aux différents points de vue par des auteurs différents ; la concordance des résultats est donc absolument concluante.

Au point de vue des formes cristallines, la boracite se présente en cristaux cubiques tétartoédriques où les faces dominantes sont tantôt les faces p, tantôt les faces b^1, avec

Digitized by Google

les troncatures a^1 et a^2. Les angles que font entre elles ces faces sont rigoureusement ceux que font entre elles les faces d'un cristal cubique, et il faut bien admettre que le système réticulaire est terquaternaire.

Au point de vue optique il y a deux types de structure à distinguer. Mallard (1) a décrit un premier type dans lequel le cristal est formé de douze pyramides ayant pour sommet commun le centre du cristal, et pour bases les faces du rhombododécaèdre. Dans chacune de ces pyramides, l'axe moyen d'élasticité est dirigé suivant l'axe quaternaire du système réticulaire parallèle à la base de la pyramide, et la bissectrice de l'angle aigu des axes optiques est perpendiculaire à cette base. L'angle des axes optiques étant de 83°, les axes sont sensiblement perpendiculaires sur les faces du cube.

L'autre type de structure a été décrit par M. Baumhauer (2). Chaque cristal se compose de six pyramides ayant toujours pour sommet le centre du cristal et pour bases les six faces du cube. L'axe moyen d'élasticité est perpendiculaire sur la base, et les deux autres axes d'élasticité optique sont parallèles aux diagonales de la face du cube qui sert de base, et à un même sommet du cube aboutissent trois axes d'élasticité du même nom. Autrement dit, la structure est la même que celle décrite plus haut pour les cristaux, mélanges isomorphes de chlorate et de borate de soude.

Dans les deux cas, d'ailleurs, il arrive fréquemment que chaque pyramide renferme des enclaves orientées optiquement comme les autres pyramides.

M. Baumhauer (3) a recherché avec le plus grand soin les éléments de symétrie de la boracite. Cette recherche était

(1) Mallard, *Annales des Mines*, 1876.
(2) Baumhauer, *Zeitschrift f. Kryst. u. Min.*, t. III.
(3) Baumhauer, *Die Resultat der Ætzmethode.*

Digitized by Google

rendue très difficile par la présence des enclaves, qui prennent souvent comme étendue une importance comparable à celle de la pyramide qui les renferme. De ces observations résultent cependant très clairement que chaque pyramide possède un axe binaire coïncidant avec l'axe optique moyen et deux plans de symétrie coïncidant avec les plans principaux d'élasticité passant par cet axe.

On voit donc que l'axe binaire coïncide avec un axe quaternaire du système réticulaire et les plans de symétrie avec les deux plans non principaux passant par cet axe quaternaire.

La boracite possède donc une structure mériédrique du système cubique et, par suite, ses cristaux doivent se macler autour des éléments déficients de façon à ce que la macle présente la totalité ou une partie des éléments de symétrie du système réticulaire. Dans les deux types de structure, ces

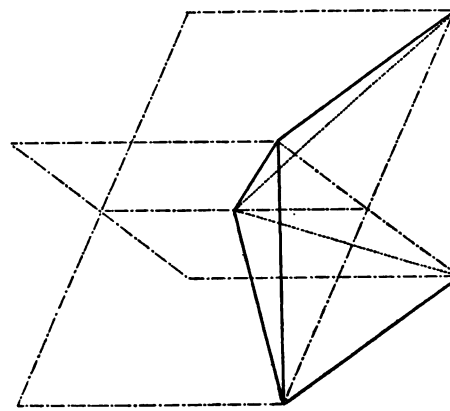


Fig. 6.

macles ont pour éléments de symérie $3A^2$, $4L^3$, $6P$ et, comme chaque cristal a pour élément A^2, $2P$, il en résulte que

Digitized by Google

chaque macle renferme $\frac{24}{4} = 6$ cristaux. La différence de structure résulte simplement de la façon dont ces cristaux se pénètrent, comme on le voit dans les figures 6 et 7, où les

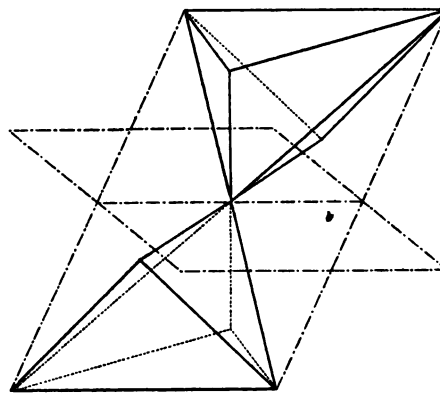


Fig. 7.

éléments de symétrie sont orientés parallèlement et dans lesquelles un seul cristal est représenté. Dans la structure reconnue par M. Baumhauer, un cristal a pourarête latérale les quatre axes ternaires déficients, et l'axe binaire coïncide avec la hauteur. Au contraire, dans la structure constatée par Mallard, chaque cristal se compose de deux pyramides opposées par le sommet et ayant pour arêtes latérales deux axes ternaires et les deux axes quaternaires qui ne coïncident pas avec son axe binaire. Ce cristal n'est coupé que par l'un de ses plans de symétrie ; l'autre passe entre les deux pyramides, ainsi que l'axe binaire.

On voit donc que la différence entre ces deux structures est toute superficielle et ne dépend que de la forme extérieure des cristaux constituant les macles. Si donc on se rap-

Digitized by Google

pelle que ces cristaux peuvent se pénétrer les uns les autres, on ne sera pas étonné que certaines macles présentent une structure intermédiaire aux deux structures qui viennent d'être décrites, comme cela a été constaté par M. Baumhauer sur des cristaux de Westeregeln.

On sait que la boracite est dimorphe et que, si on chauffe un cristal biaxe à 265°, il devient isotrope. On voit donc que la nature du système réticulaire n'est pas modifiée dans le passage d'une structure à l'autre. On ne connaît pas les éléments de symétrie de cette boracite isotrope ; mais il est fort probable qu'elle possède la même symétrie que la macle constituée par les cristaux biaxes ; elles auraient donc pour éléments $3A^2$, $4L^3$, 6P. Il est donc fort facile de déduire de sa structure celle de cristaux biaxes ayant pour symétrie A^2, 2P, en suivant la règle générale indiquée plus haut.

Pyrénéite. — Cette substance cristallise, comme on le sait, en rhombododécaèdres dont les angles sont exactement ceux d'un cristal cubique. On n'a donc aucune raison d'attribuer à ce cristal un système réticulaire autre que le système terquaternaire.

Mais, au point de vue optique, Mallard (1) a montré que ces rhombododécaèdres se décomposaient en douze pyramides ayant leur sommet au centre du cristal et dont les bases coïncident avec les faces extérieures du cristal. La constitution est donc analogue au premier type de structure de la boracite. Chacune de ces pyramides est optiquement biaxe ; le plan des axes optiques passe par la grande diagonale du rhombe de base et est perpendiculaire à cette base ; il coïncide donc avec un plan de symétrie principal du réseau ; des deux bissectrices, la bissectrice obtuse n_p est perpendiculaire à la base, l'autre lui est parallèle ; elles coïncident

(1) Mallard, *Bulletin de la Soc. min.*, t. XIV.

Digitized by Google

par conséquent avec des axes binaires de système réticulaire, tandis que l'axe moyen est parallèle a un axe quaternaire. L'angle des axes optiques est, d'après Mallard, de 56°.

Pour déterminer exactement les éléments de symétrie de chacune de ces pyramides, je ne pouvais employer que la méthode des figures de corrosion, obtenues sur des sections déterminées par l'emploi de l'acide fluorhydrique bouillant, agissant pendant une ou deux minutes.

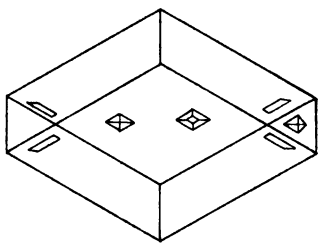


Fig. 8.

Une section parallèle à la face du rhombododécaèdre (*fig.* 8) intéresse sept pyramides : l'une, centrale, est coupée suivant un losange perpendiculairement à n_p ; deux autres sont coupées suivant des triangles perpendiculairement à n_g, et quatre autres suivant des sections obliques sur les axes d'élasticité optique. Sous l'influence de l'attaque à l'acide fluorhydrique, on voit naître, sur le losange central, des figures de corrosion ayant la forme de pyramide quadrangulaire à base losangique présentant deux plans de symétrie coïncidant avec le plan des axes optiques et le plan $n_p n_m$. Le sommet de ces pyramides peut d'ailleurs être remplacé par une face parallèle à la base. Sur la section triangulaire les figures de corrosion ont la même forme générale avec une déformation ne laissant subsister que le plan de symétrie parallèle à leur plan des axes optiques. Sur les deux

Digitized by Google

sections, qui appartiennent à des cristaux symétriques relativement au centre, les figures ne sont pas parallèles, mais symétriques par rapport au centre de la section. Enfin, sur les quatre sections obliques, apparaissent des figures très nettement dissymétriques, comme l'indique la figure.

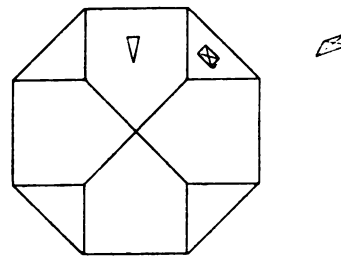


Fig. 9.

Une section faite dans un cristal perpendiculairement à un axe quaternaire et assez près du centre intéresse huit pyramides (*fig.* 9); quatre se rencontrant au centre sont coupées perpendiculairement au plan $n_g n_p$, et quatre latérales sont coupées perpendiculairement à n_m. Les figures de corrosion des quatre premières sont si petites qu'il est fort difficile d'en distinguer la forme. Elles se présentent comme de petits triangles dont un angle très aigu est dirigé par le centre de la section, tandis que la base opposée est parallèle au côté de cette section. Tout me porte à croire que ces figure ont, en réalité, la forme d'un tétraèdre très aigu dont une face est dans le plan de la face attaquée et dont le sommet s'enfonce vers le centre, comme le montre la figure. Elles auraient donc un plan de symétrie coïncidant avec le plan $n_g n_p$. Quant aux sections des pyramides latérales, elles montrent des figures de forme quadratique régulières, ayant deux de leurs côtés parallèles au côté extérieur de la section.

Digitized by Google

Enfin une section du cristal faite perpendiculairement à un axe ternaire intéresse trois pyramides qui sont coupées perpendiculairement au plan $n_p n_m$ et les figures de corrosion, (*fig.* 10) ont la forme de pyramides triangulaires régulières ayant leurs arêtes de base parallèles aux bords extérieurs de la section.

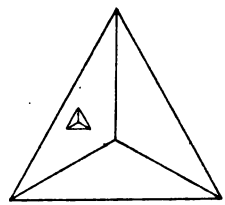


Fig. 10.

De cette courte étude semble donc bien résulter que, si nous désignons par le symbole $3A^4, 4L^3, 6L^2, C, 6P, 3\Pi$, les éléments de symétrie du système réticulaire, chaque pyramide appartient à un cristal ayant pour éléments de symétrie L^2, Π, P. La symétrie est donc de même nature que celle de la boracite ; mais les éléments du système réticulaire qui sont employés dans le cristal ne sont pas les mêmes.

Ces cristaux mériédriques se groupent pour donner naissance à une macle ayant tous les éléments de symétrie du système réticulaire ; elle est donc constituée par un nombre de cristaux égal à $\frac{48}{4} = 12$, qui ont pour arêtes latérales les axes déficients, c'est-à-dire les axes quaternaires et les axes ternaires. La face dominante est perpendiculaire sur l'axe binaire L^2 du cristal et sur les plans de symétrie.

Boléite. — Cette substance, décrite par MM. Mallard et Cumenge dans les tomes XIV et XVI de ce recueil, cristallise en cubes portant, dans certains cas, des facettes octaédriques. Rien dans la mesure des angles ne permet d'attribuer à ces

Digitized by Google

cristaux un réseau différent du réseau terquaternaire. Cependant les propriétés optiques ont permis de distinguer dans les cubes six pyramides ayant pour bases les faces du cube. Chacune de ces pyramides est optiquement uniaxe, l'axe optique étant perpendiculaire à la base, c'est-à-dire parallèle à un axe quaternaire du cube. Il arrive d'ailleurs assez fréquemment que, dans une pyramide, on rencontre des lames parallèles à sa base, mais optiquement orientées comme une autre des pyramides. Certains cristaux renfermeraient également des plages isotropes, que je n'ai d'ailleurs pas eu l'occasion d'observer.

Voyons quels sont les éléments de symétrie des cristaux uniaxes. Une lame, taillée parallèlement à une face du cube, intéresse cinq pyramides, une centrale taillée perpendiculairement à l'axe optique et quatre taillées parallèlement à leur axe. Une telle lame, attaquée par l'acide azotique très

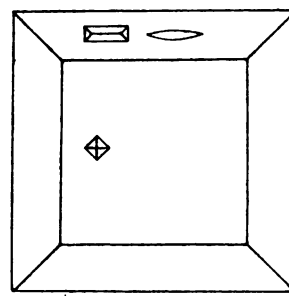


Fig. 11.

étendu d'eau, montre dans la partie centrale (*fig.* 11) des figures de corrosion quadratiques régulières dont les côtés sont parallèles aux diagonales de la lame.

Dans les parties latérales, ces figures affectent soit une forme lenticulaire à grand axe parallèle au côté, soit la

Digitized by Google

forme d'une pyramide à base rectangle allongée parallèlement au côté, dont deux faces sont, par conséquent, plus développées que les deux autres.

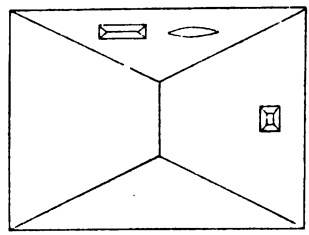


Fig. 12.

Une section tangente à une arête du cube coupe deux pyramides parallèlement à leur axe optique et deux autres suivant une direction à 45° de cet axe (*fig.* 12). Or, sur les deux premieres, les figures de corrosion présentent la même forme que dans les parties latérales de la coupe précédente; dans les deux secondes, ce sont de petites pyramides quadratiques à côtés parallèles aux côtés de la section, et dont le sommet est généralement tronqué par une facette parallèle à la base.

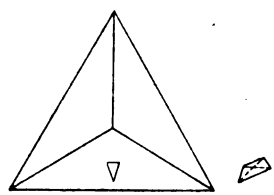


Fig. 13.

Enfin une section octaédrique, intéressant trois pyramides (*fig.* 13), montre des figures de corrosion de forme tétraédrique, dont la base, triangle isocèle, a un angle très

Digitized by Google

aigu dirigé vers le côté de la section correspondant et la base opposée parallèle à ce côté.

Tous ces résultats concourent donc à montrer que les éléments de symétrie de ces pyramides sont Λ^4, $2\Lambda^2$, $2L^2$, C, 2P, 2Π, Π, les éléments de symétrie du système réticulaire étant $3\Lambda^4$, $4L^3$, $6L^2$, C, 6P, 3Π. Ces pyramides sont donc maclées au nombre de $\frac{48}{16} = 3$; leurs arêtes coïncident avec les axes ternaires déficients, et la face dominante est perpendiculaire sur l'élément de symétrie d'ordre le plus élevé, c'est-à-dire sur l'axe quaternaire.

Ces trois exemples, qui nous montrent la répartition symétrique de la matière autour d'éléments différents du système réticulaire, suffiront, je l'espère, pour bien faire comprendre la portée des idées développées dans les paragraphes précédents et pour établir d'une façon définitive qu'il n'y a pas, en réalité, d'anomalies optiques ; ces soi-disant anomalies résultaient simplement d'une convention tout à fait arbitraire sur le degré de symétrie que peut présenter un cristal ayant un système réticulaire donné.

Notice sur A. Schrauf

Par M. G. Wyrouboff.

Le professeur Albrecht Schrauf, que nous avions élu membre honoraire en 1895, est mort à Vienne, le 29 novembre 1897, à l'âge de soixante-deux ans. Il appartenait à cette brillante pléiade de savants qui ont été, on peut le dire, les initiateurs de la cristallographie moderne, et qui ont donné tant d'éclat à l'école viennoise.

A côté des noms de Haidinger, de Grailich, de V. v. Lang

Digitized by Google

et Ditscheiner, de Exner, son nom restera attaché à l'histoire des débuts de la physique des corps cristallisés. Les formes cristallines étaient jadis considérées soit comme de pures abstractions, propres à exercer la sagacité des géomètres, soit comme des caractères commodes, destinés à différencier les espèces minérales. C'est à l'école de Vienne que revient l'honneur d'avoir tenté de les relier non seulement expérimentalement, mais encore théoriquement, aux diverses propriétés physiques. Non pas sans doute que des tentatives de ce genre n'aient pas été faites avant — les travaux de Delafosse et de Senarmont sont de plusieurs années antérieures, — mais jamais encore on n'avait fait de recherches aussi variées et sur une aussi vaste échelle.

Esprit original et en même temps expérimentateur très habile, Schrauf, jeune encore, se lança avec enthousiasme dans cette voie. Après quelques travaux préliminaires dont on trouvera plus loin l'énumération, il publia son *Traité de Minéralogie physique* (1866-1868) et ses *Études physiques* (1867). Ces deux œuvres, extrêmement remarquables, surtout pour l'époque déjà lointaine où elles ont été conçues, présentent le premier essai systématique sur les relations qui peuvent exister entre les propriétés physiques et les corps cristallisés, considérés non pas seulement dans leur forme, mais encore dans leur structure et même leur composition chimique. Tout n'y est certes pas à l'abri de la critique, et bien des hypothèses auxquelles Schrauf tenait le plus nous paraissent actuellement inadmissibles; mais la science d'alors n'était pas la science d'aujourd'hui, et il serait injuste de le reprocher à l'auteur.

Deux idées générales ont particulièrement préoccupé Schrauf; il les a développées dans les deux ouvrages que je viens de citer, dans un certain nombre de mémoires spéciaux.

Digitized by Google

Il était un adversaire convaincu de l'hypothèse de l'éther en optique. Il l'a critiquée avec beaucoup de vigueur et infiniment de bon sens. Il a fait mieux : il a essayé de montrer que les équations de la théorie des ondulations se déduisaient tout aussi bien en admettant des vibrations des particules matérielles elles-mêmes. Sans entrer ici dans une discussion de détail de ses très intéressantes recherches, faites de main de maître, il est permis de dire cependant qu'il n'a pas répondu à tous les arguments des partisans de l'éther. Il n'en a pas moins appelé l'attention sur cette importante question et apporté son contingent d'efforts dans la lutte déjà ancienne contre une conception toute métaphysique, qu'on est étonné de trouver encore à la base d'un des chapitres de la science positive.

La seconde idée théorique sur laquelle Schrauf est revenu à plus d'une reprise se rattache directement à la première. Puisque les ondes lumineuses sont produites par les oscillations des molécules, il est clair que les propriétés de ces ondes doivent dépendre de la grandeur et du nombre relatifs des atomes élémentaires qui composent la molécule. Schrauf a mis au service de cette thèse, si séduisante en effet, toute sa grande science et sa remarquable ingéniosité, et l'on peut dire qu'il l'eût démontrée si elle était démontrable. Il est allé plus loin encore. Il a essayé de montrer qu'entre les poids atomiques et les paramètres cristallographiques, il existait une relation très simple et qu'en partant des premiers on pouvait calculer les seconds, même dans le cas où une substance donnée avait plusieurs formes cristallines.

Aujourd'hui que nous connaissons d'une façon plus approfondie les conditions précises de la symétrie des polyèdres cristallins, des conclusions de ce genre nous paraissent bien hypothétiques et surtout bien prématurées. Mais, à l'époque où elles ont été formulées, et où les faits observés restaient

Digitized by Google

sans aucun lien entre eux, elles constituaient une tentative, on ne peut plus méritoire, de ramener à un principe unique les phénomènes divers de la physique des cristaux.

Outre ces travaux d'ordre théorique, Schrauf a publié un nombre considérable de mémoires relatifs à des questions très diverses de cristallographie et de minéralogie. Partout se manifeste une rare conscience scientifique, partout apparaît l'observateur sagace, habitué à manier les instruments les plus délicats. J'en emprunte la longue liste à la notice de son élève, M. Scharizer, professeur de minéralogie à Czernowitz.

Je rappelle, en terminant, que Schrauf avait commencé, il y a bien des années déjà, la publication d'un *Atlas des formes cristallines des minéraux*. Cette œuvre considérable n'a malheureusement pas été achevée; mais, à en juger par les cinq livraisons parues, elle eût été un véritable monument, aussi bien par le nombre et la précision des faits accumulés que par l'exactitude et l'élégance des dessins.

LISTE DES TRAVAUX DE A. SCHRAUF.

1859. Sur les formes cristallines de la calamine. *Bull. Ac. de Vienne*, t. 38.

1860. Recherches cristallographiques et optiques sur l'identité de la wolnyne et de la barytine. *Ibid.*, t. 39.

» Revision des observations sur les corps cristallisés. *Ibid.*, t. 39.

» Détermination des constantes optiques des corps cristallisés. 1re série. *Ibid.*, t. 41.

» *Id.*, 2e série. *Ibid.*, t. 42.

1861. Explication de la biaxité dans les substances rhomboédriques. *Pogg. Ann.*, t. 114.

» Monographie de la columbite. *Bull. Ac. Vienne*, t. 44.

Digitized by Google

1862. Des rapports entre la propagation de la lumière et la densité des corps. *Pogg. Ann.*, p. 116.

» Comparaison de la vanadinite de Lippe, avec la descloizite. *Ibid.*, t. 116.

» Sur l'anhydrite; *Bull. Ac. de Vienne*, p. 46. et *Pogg. Ann.*, t. 117.

1863. Sur les méthodes de calcul du système hexagonal. *Bull. Ac. de Vienne*, t. 48.

» Relation entre la propagation de la lumière et la composition chimique. *Pogg. Ann.*, t. 118.

» Sur la météorite d'Alexandrie. *Ibid.*, t. 118.

» Sur l'influence de la composition chimique sur la propagation de la lumière. *Ibid.*, t. 119.

1864. Sur le volume et la surface des cristaux. *Bull. Ac. de Vienne*, t. 50.

» Analogie entre le système rhomboédrique et le système prismatique. *N. Jahr. f. Min.*

1865. Sur la détermination des équivalents de réfraction des corps simples. *Pogg. Ann.*, t. 126.

» Contribution au calcul des macles. *Bull. Ac. de Vienne*, t. 52.

1865. Atlas des formes cristallines des minéraux, 1er fascicule.

1866. Traité de minéralogie physique. Vol. 1.

» Analogies entre l'équivalent de réfraction et le volume spécifique. *Bull. Ac. de Vienne*, t. 54.

» Sur les constantes optiques des variétés minérales et des modifications allotropiques. *Ibid.*, t. 54.

» Détermination du poids du grand diamant connu sous le nom de « Florentin ». *Ibid.*, t. 54.

» Détermination des équivalents de réfraction des corps simples. *Pogg. Ann.*, t. 127.

» Notice sur les équivalents de réfraction et les valeurs optiques des atomes des corps simples. *Ibid.*, t. 127.

» Sur une macle de sulfure de manganèse. *Ibid.*, t. 127.

» Sur les variétés minérales et les modifications allotropiques. *Ibid.*, t. 129.

Digitized by Google

1867. Études physiques sur les relations entre la matière et la lumière. Vienne. Gerold.
» Dérivation des formes cristallines au moyen des valeurs optiques des atomes élémentaires. *Pogg. Ann.*, t. 130.
1868. Traité de minéralogie physique. Vol. 2.
» Sur quelques objections contre la théorie des équivalents de réfraction. *Pogg. Ann.*, t. 133.
» Sur les variations simultanées de la forme cristalline, du volume spécifique et de la dureté. *Ibid.*, t. 134.
» Sur les axes clinogonaux d'élasticité optique. *Ibid.*, t. 135.
1869. Études sur la labradorite. *Bul. Ac. de Vienne*, t. 60.
» Manuel des pierres précieuses. Vienne, Gerold.
» Sur la présence de la brookite avec oligiste à Piz Cavradi. *Ibid.*, t. 60.
1870. Études minéralogiques, I. *Ibid.*, t. 62.
» Meerchaluminite de Ross. *Verh. d. geol. Reichr.*
1871. Sur les molybdates et les vanadates de plomb, et sur un nouveau minéral de Leadhill. *Pr. r. Loc.*, n° 128.
» Sur l'azurite de Nertschinsk d'après les échantillons du musée minéralogique de Vienne. *Min. Mith. de Tcherm.*
» Formes holoédriques de l'apatite. *Ibid.*
1871. Cuprite de Liscord. *Ibid.*
» Axinite du lac d'Onéga. *Ac. d. Sc. de Pétersbourg.*
» Atlas des formes cristallines de minéraux. II.
» Eosite, un nouveau minéral. *N. Jahrb.*
» Sur le système cristallin de la sylvanite et de la calédonite. *Ibid.*
» Sur les inclusions de la labradorite. *Ibid.*
» Observations minéralogiques. II. *Bull. Ac. de Vienne*, t. 63.
» Observations minéralogiques. III. *Ibid.*, t. 64.
» Sur les cristaux de chondrodite de Nyakoppaberget en Suède. *Ibid.*, 64.
1872. Cuivre de Walleroo. *Min. Mith. de Tochern.*
» Notice sur la boracite de Stassfort et l'argent de Copiapo. *Ibid.*

Digitized by Google

1872. Chalcolite et zeunerite, avec remarque sur la walpurgine et la trögerite. *Ibid.*
» Anatase et rutile. *Ibid.*
» Atlas des formes cristallines des minéraux. III.
» Sur la rittingerite. *N. Jahrb.*
» Observations minéralogiques. IV. *Bull. Ac. de Vienne*, t. 65.

1873. Atlas des formes cristallines des minéraux. IV.
» Notices sur la lanarkite, la schröckingerite, la pharmacoleite, la zeunerite, la pseudomalachite. *Min. Mitth.*, *Tcherm.*
» Sur la cérusite. *Ibid.*
» Observations minéralogiques. V. *Bull. Ac. V.*, t. 67.
» Sur la théorie des macles. *Pogg. Ann.*, 148.
» Objections de Reusch. *Ibid.*, 149.

1874. Antimonite de Michelsberg. *Min: Mitth. de Tsch.*
» Célestine du Banat. *Ibid.*
» Monographie de la roselite. *Ibid.*
» Sur le clinochlore. *Ibid.*
» La vesrzélyite, un nouveau minéral du Banat. *N. Jahrb.*
» Sur les propriétés électriques de quelques minéraux (en collaboration avec Dana). *Bull. Ac. Vienne*, t. 69

1875. Sur la présence de l'eau dans la roselite. *N. Jahrb.*
» Sur la wapplerite. *Ibid.*

1876. Sur l'analcime. *Bull. Ac. de Vienne.*
» Observations minéralogiques. VI. *Ibid.*, t. 74.

1877. Sur les constantes cristallographiques de la lanarkite. *Z. f. Kr.*, t. I.
» Remarques sur les propriétés de la symétrie optique, en particulier dans la brookite. *Ibid.*, t. I.
» Nouveaux gisements de graphite en Bohême. *N. Jahrb.*
» Sur la gismondine. *Z. f. Kr.*, t. I.

1878. Atlas des formes cristallines des minéraux. V.
» Sur les minerais du tellure de Siebenbürgen. *Z. f. Kr.*, t. 2.

Digitized by Google

1878. Sur la pyrostilpnite et la rittingerite de Chanarcillo. *N. Jahrb.*

1879. Sur l'eggonite. *Z. f. Kr.*, t. 3.

» Sur la forme des signaux dans les mesures cristallographiques. *Ibid.*, t. 3.

» Sur les phosphates de cuivre. *Ibid.*, t. 4.

1880. Sur les arséniates de Joachimsthal. *Ibid.*, t. 4.

1882. Contributions à l'étude des associations des silicates magnésiens. *Ibid.*, t. 6.

» Sur l'uranothalite. *Ibid.*, t. 6.

» Analyse de la danburite de Scopi. *Ibid.*, t. 7.

1883. Sur le diéthyle, et le dipropylanilinazyline. *Ibid.*, t. 7.

» Sur l'application des 4 quartz de Bertrand aux observations de stauroscopie microscopique. *Ibid.*, t. 8.

» Sur la lunnite. *Ibid.*, t. 8.

» Une formule de zones simple. *Ibid.*, t. 8.

» Anomalies optiques, constantes thermiques. *N. Jahrb.*, 2.

1884. Études comparatives sur la disposition axiale des atomes dans les cristaux. *Z. f. Kr.*, t. 9.

» Sur le trimorphisme et les coefficients de dilatation de l'acide titanique. *Ibid.*, t. 9.

» Sur l'équivalent de dispersion du diamant. *Wied. Ann.*, t. 22.

» Sur la kélyphite. *N. Jahrb.*

1885. Expérience de cours sur les modifications que produisent les corps anisotropes dans la direction de propagation du mouvement vibratoire. *Z. f. Kr.*, t. 10.

» Sur la différence d'azimut des rayons doublement réfractés. *Ibid.*, t. 11.

1886. Une nouvelle formule de zones, pour les systèmes orthogonaux. *Ibid.*, t. 12.

» Les constantes thermiques du soufre. *Ibid.*, t. 12.

» Sur la morphotropie. *N. Jabrh.*, t. 1.

» Sur l'équivalent de réfraction du soufre. *Wied. Ann.*, t. 27.

» Sur le coefficient de dilatation du soufre. *Ibid.*, t. 27.

Digitized by Google

1886. Sur la dispersion et la densité axiale des cristaux prismatiques. *Ibid.*, t. 28.

» Sur la dispersion, la densité axiale et les paramètres des cristaux orthorhombiques. *Ibid.*, t. 28.

1887. Sur quelques observations de M. Camerlander sur la serpentine de Kremze. *V. d. geol. Reichs.*

» Sur la molécule de la benzine cristallisée. *Wied. Ann.*, t. 31.

1889. Sur l'emploi d'une sphère de soufre pour la démonstration des sections singulières de la surface d'onde. *Ibid.*, t. 73.

1890. Sur la métacinnabarite et sa paragenèse. *Jahrb. d. geol. Reichs.*

1892. Sur une combinaison du microscope et du goniomètre à réflexion pour la mesure des angles. *Z. f. Kr.*, t. 20.

» Un appareil pour chauffer les préparations microscopiques. *Ibid.*, t. 20.

1894. Aphorismes sur le cinabre. *Zeitsch. f. prakt. Geol.*

» A la mémoire de G. Agricola. *Ibid.*

Comptes rendus des publications étrangères.

W.-J. Sollas. — *Sur la structure intime des cristaux* (*P. R. S.*, London, p. 270, vol. LXII, 1898).

L'auteur se propose de rechercher quelle est la structure de quelques substances cubiques, en admettant que les atomes formant ces dernières soient sphériques. Il fait observer que les corps cubiques, formés de 2 atomes comme KCl, NaCl, possèdent un clivage cubique, alors que ceux qui sont formés par 3 atomes ont un clivage octaédrique, comme la fluorine $CaFl^2$, la cuprite Cu^2O. L'auteur s'occupe d'abord des substances à clivage cubique. Il admet que chaque molécule de NaCl, par exemple, est formé d'une sphère de Na et une de Cl.

Digitized by Google

Le volume moléculaire de NaCl est 27,0002 ; celui de 4 molécules formant ce qu'il appelle le *cubelet primitif*, est égal à 108,91, et le côté de ce cube est 4,7623. D'après ce qui précède, ce nombre représente le diamètre de la sphère de sodium et celui de la sphère de chlore. Le volume de ces dernières est calculé de la façon suivante :

Le volume moléculaire de lithium est de 12,162 ou 11,936 ; celui du sodium, 23,46 ; celui du potassium, 45,25 ou 44,732. Le volume moléculaire du chlorure de lithium est 20,484 ; du chlorure de sodium, 27,0002 ; du chlorure de potassium, 37,7503. En retranchant à ces trois volumes moléculaires la moitié de celui du métal qui les forme, on trouve que la moitié du volume du chlore est 14,516 si on considère le chlorure de lithium, 15,272 avec NaCl et 15,1253 avec KCl. Ces trois nombres ne diffèrent pas beaucoup entre eux. En continuant le raisonnement, on peut calculer le diamètre de la sphère représentant le chlore, le brome et les métaux alcalins. L'auteur explique ensuite la dilatation de quelques corps.

H.-A. Miers. — *Pseudomorphoses de minéraux britanniques* (*Min. Mag.*, 1897, p. 263).

Dans ce travail, un très grand nombre de pseudomorphoses sont décrites. Parmi celles qui n'ont pas été signalées, l'auteur indique les suivantes :

Pseudomorphose de calcite en célestine? (Durham). Elle était connue sous le nom de jarrowite ; de chalybite en bismite (Fowey Consols Mine, Saint Blazey, Cornwall) ; de chlorite en mispickel (Cornwall) ; d'hématite en fluorine (Lancashire et Cumberland) ; de limonite en cronstedtite ; de barytine en pyrite (Liskeard) ; de quartz en bournonite (Liskeard) ; de quartz en argentite. Dans ce dernier cas, le quartz a été remplacé successivement par la chalcopyrite, la marcasite, la chalybite, l'argent natif, et finalement l'argentite.

Digitized by Google

G.-F. Kunz, L.-V. Pirsson, J.-H. Pratt. — *Les saphirs de Montana* (*Am. J. of Sc.*, t. CLIV, p. 417, 421 et 424, décembre 1897).

Le corindon se trouve dans un dyke de roche ignée coupant les couches sédimentaires. La roche formant ce dyke a des affinités avec le groupe de la monchiquite; mais, toutefois, elle est un type altéré. C'est donc une nouvelle roche basique contenant du corindon. Les cristaux de saphir sont hexagonaux, aplatis suivant l'axe vertical, et montrent de nombreuses figures de corrosion. Souvent les faces latérales sont celles du rhomboèdre.

C.-H. Warren. — *Sur le gisement de melanotekite, à Hillsboro (New Mexico) et sur la composition chimique de la melanotekite et de la kentrolite* (*Am. J. of Sc.*, p. 116, août 1898).

Les plus gros cristaux observés ont 5 millimètres de longueur et montrent les formes h^1 (100), g^1 (010), m (110), $b^{1/2}$ (111), g^2 (130), g^3 (150). Les deux dernières faces sont les plus rares.

De la mesure des angles l'auteur tire :

$$a : b : c = 0{,}6338 : 1 : 0{,}9126.$$

Ces rapports diffèrent peu de ceux de Nordenskiöld. L'analyse a conduit l'auteur à des résultats un peu différents de ceux qui ont été fournis à Lindström par la melanotekite de Suède. La moyenne de deux analyses a donné :

SiO^2, 15,49 ; PbO, 55,56 ; Fe^2O^3, 37,51 ;
CaO, MnO, K^2O, etc., 0,82 ; H^2O, 0,68.

ce qui conduit à la formule $Fe^4Pb^3Si^3O^{15}$ ou $(Fe^4O^3)Pb^3(SiO^4)^3$.

La formule admise jusqu'ici est $Fe^2Pb^2Si^2O^9$.

L'auteur déduit aussi de ses analyses que celle de la kentrolite doit être changée et qu'elle est $(Mn^4O^3)\ Pb^3\ (SiO^4)^3$.

Le Secrétaire, gérant,
Paul GAUBERT.

Tours. — Imprimerie Deslis Frères.

Digitized by Google

BULLETIN

DE LA

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE MINÉRALOGIE

ANNÉE 1898. — BULLETIN N° 8.

Compte rendu de la séance du 8 décembre 1898.

PRÉSIDENCE DE M. LE CHATELIER.

M. le Président proclame membre de la Société M. de Massey, ingénieur civil des mines, présenté par MM. LACROIX et MICHEL.

M. Pisani présente les minéraux suivants :

Phenacite en gros cristaux sur quartz de Kragerö. — Norvège.

Elpidite silico-zirconate de soude orthorhombique — cristaux allongés asbestoïdes d'un gris jaunâtre. — Narsasuk Groënland.

Parisite en petits cristaux, associée à l'Elpidite et à la Neptunite. — Narsasuk, Groënland.

Digitized by Google

M. L. Bourgeois présente à la Société un échantillon du tétrabromure d'acétylène $C^2H^2Br^4$. Ce liquide qui s'obtient très aisément en saturant du brome à froid par un courant de gaz acétylène, convient parfaitement d'après M. W. Muthmann (1), pour effectuer la séparation des minéraux suivant leur densité, car sa densité est, à 6°, de 3,001 ; en outre, il est très stable, inoffensif pour les minéraux et pour l'opérateur et, de plus, miscible aux dissolvants neutres autres que l'eau. Sa réfringence très élevée ($n_D = 1,6479$) permet aussi de l'employer parfois à la place de la naphtaline monobromée. Dans la préparation, M. Bourgeois, au lieu de refroidir le brome par de la glace, s'est borné à opérer en plein air, sous une couche d'eau, dans un grand flacon; il a pu aussi, sans pertes notables, se passer du traitement par l'éther en vue de rassembler la totalité de bromure, traitement recommandé par M. Muthmann.

Méthode de détermination rapide des feldspaths des roches

Par Fréd. Wallerant.

Un des problèmes les plus importants soulevés par l'étude microscopique des roches est, sans contredit, celui de la détermination des feldspaths. Aussi la solution de ce problème a-t-elle fait naître une série de travaux de la plus grande importance sur les propriétés de ces cristaux, tels ceux de MM. Fouqué, Michel Lévy, F. Becke, v. Fedorow, Viola. Comme conclusions de leurs recherches, ces savants furent amenés à proposer, pour la détermination des

(1) *Zeits. f. Kryst.*, 1898, t. XXX, p. 73.

Digitized by Google

feldspaths, des méthodes ayant toutes leurs avantages. Elles exigent cependant dans leur application certaines conditions, telles que l'existence de macle, de plans de clivage ou même de sections d'orientation déterminée. Je suis à même aujourd'hui d'indiquer une méthode rapide, n'imposant aucune condition à la section qu'il s'agit de déterminer ; cette méthode consiste à déterminer, d'une façon suffisamment approchée, l'indice moyen du feldspath. Dans ces corps, l'angle des axes optiques étant voisin de 90°, l'indice moyen est sensiblement la moyenne du grand et du petit indice ; mais, en outre, comme la biréfringence est faible, au grand et au petit indice on peut substituer les indices de la vibration ordinaire et de la vibration extraordinaire, se propageant suivant une même direction dans le cristal. Comme on le sait, en effet, l'un d'eux est plus grand et l'autre plus petit que l'indice moyen.

Dans le tome XX de ce Recueil, j'ai décrit un appareil permettant de mesurer les indices des deux vibrations se propageant suivant une même direction quelconque à la surface de la section. Le problème se trouverait donc résolu ; mais on peut opérer beaucoup plus rapidement en ne faisant qu'une seule mesure, qui donne directement une valeur moyenne entre celles des deux indices.

Pour atteindre ce but, on se sert du dispositif que j'ai décrit pour la lumière homogène, mais en se servant de lumière blanche, sans interposer de nicol sur le parcours des rayons. Dans ces conditions, le phénomène de la réflexion totale se traduit, dans le plan focal supérieur de l'objectif, par une obscurité relative dans une partie du champ ; et cette partie obscure est bordée d'une bande verte, se fondant avec la partie blanche du champ. Or la ligne de séparation de la partie verte et de la partie blanche correspond évidemment à peu près avec la ligne d'extinction des rayons jaunes, et l'expérience m'a montré qu'en mesurant l'angle α

Digitized by Google

de la normale à la face du prisme avec les rayons passant la ligne de séparation de la bande verte et de la bande blanche, on obtenait un angle différent au plus de 10′ par excès ou par défaut de l'angle correspondant à l'indice moyen du cristal. Si donc on calcule préalablement la valeur de cet angle α, pour les indices moyens des différents feldspaths, la comparaison de l'angle mesuré avec les valeurs comprises dans ce tableau indiquera immédiatement la nature du feldspath étudié.

Il suffit, par ce procédé, de trois à quatre minutes, pour déterminer une section quelconque.

Comme, en outre, on n'a pas à se préoccuper dans cette méthode, des macles que peut présenter le cristal, on peut l'appliquer à des cristaux très petits, et même des microlithes. Si les microlithes sont trop petits, on pourra opérer sur un de ces paquets de microlithes, que l'on rencontre si souvent dans les roches.

Dans mon appareil, l'angle du prisme est de 59° 58, et son indice jaune est égal à 1,8913 ; il en résulte que, pour les différents feldspaths, l'angle α prend les valeurs suivantes :

	N_m	α
Anorthite.....	1,582	6° 4′
Labrador-Bitownite....	1,563	8° 2′
Labrador.....	1,558	8° 32′
Andésine.....	1,553	9° 2
Oligoclase.....	1,542	10° 9
Albite.....	1,534	10° 57
Anorthose.....	1,528	11° 34
Microcline.....	1,526	11° 45
Orthose.....	1,528	11° 34
	1,523	12° 3

Ce tableau nous montre que la mesure de l'indice moyen

Digitized by Google

ne suffit pas pour distinguer entre eux les trois feldspaths potassiques, par suite des variations que subit cet indice, quand varie la teneur en soude.

Trois exemples vont me permettre de montrer le degré d'exactitude de cette méthode.

1° J'ai d'abord étudié l'albitophyre du Bégon, décrit par M. Michel Lévy (1), qui en a déterminé les feldspaths.

Les grands cristaux de première consolidation m'ont donné, pour l'angle α, les valeurs suivantes : 11° 10, 10° 52, 11° 8, 11° 6, 10° 56, 10° 54, 11° 14. Ces angles sont bien ceux qui se rapportent à l'albite, parce que l'angle exact est de 10° 57.

Les microlithes ont donné : 10° 48, 10° 42, 10° 32, 11° 2 ; ils appartiennent donc également à l'albite.

La préparation était traversée par un filament de calcite contenant de petits cristaux de feldspaths sans forme cristalline d'origine secondaire. Ces cristaux ont donné, pour l'angle α, la valeur 9° 16. Ils appartiennent à une espèce beaucoup plus basique, l'andésine.

Enfin la substance amorphe de la roche, assez abondante, a un indice se rapprochant beaucoup de celui des microlithes ; elle doit donc être considérée comme formée par un verre albitique ;

2° Une lave de l'Etna, de l'éruption de 1886, recueillie près des Monte-Rossi, renferme des cristaux de felspaths, sans qu'il y ait de distinction nette entre les deux stades de cristallisation.

L'angle α est fort variable d'un cristal à un autre, comme le montre la série suivante : 6° 46, 6° 48, 6° 52, 7° 12, 7° 16, 7° 20, 7° 30, 7° 36, 7° 38, 7° 38.

Ces feldspaths sont donc compris entre le labrador-bytownite et l'anorthite ;

(1) Michel Lévy, *C. R.*, 1896.

Digitized by Google

3° Basalte d'Aci Castello, sur l'Etna.

Les deux stades sont bien différenciés, et les valeurs de l'angle α sont beaucoup plus constantes.

Les grands cristaux ont donné : 7° 38, 7° 38, 7° 38, 7° 44, 7° 48, correspondant à un feldspath un peu plus basique que le labrador-bytownite.

Pour les microlithes, j'ai obtenu les valeurs 7° 50, 7° 50, 7° 54, 7° 56 ; ce qui les fait nettement rapporter à ce labrador-bytownite.

Ces trois exemples suffisent pour montrer que la mesure approchée de l'indice moyen suffit pour déterminer très rapidement, avec une approximation suffisante, la nature des feldspaths entrant dans la composition d'une roche.

Sur l'existence de la wollastonite comme élément d'une aplite

Par M. A. Lacroix.

En achevant, cet été, l'étude géologique de la région de Quérigut (Ariège), j'ai trouvé une roche à composition singulière, une *aplite*, dans laquelle la wollastonite joue le rôle d'un élément essentiel.

Le canton de Quérigut (ancien Donézan) est presque entièrement constitué par l'extrémité occidentale d'un vaste massif de granite que j'ai pu suivre sur plus de 50 kilomètres de l'ouest à l'est, du port de Pailhères (Ariège) à Milhas (Pyrénées-Orientales). Ce granite se trouve au milieu de terrains paléozoïques qu'il a plus ou moins métamorphisés. Dans sa partie occidentale il a, en outre, enveloppé une vaste bande calcoschisteuse qui se prolonge de l'est à l'ouest sur

Digitized by Google

une longueur de 24 kilomètres environ et présente des phénomènes métamorphiques extraordinairement intenses, alors que le granite à son tour a subi, au contact des calcaires, des transformations endomorphiques grandioses. Ces divers phénomènes métamorphiques ayant fait l'objet d'un mémoire récent (1), je ne m'y arrêterai pas.

Dans la zone calcaire enveloppée par le granite, on voit partir du granite endomorphisé (et transformé en granite à hornblende, diorite ou hornblendite), d'innombrables filons de roches feldspathiques de couleur blanche, dont le grain varie depuis celui d'une aplite fine (saccharoïde) jusqu'à celui de véritables pegmatites à grands éléments. Toutes ces roches ont comme caractère commun d'être essentiellement constituées par du microcline blanc laiteux et de renfermer du diopside vert.

Le filon qui fait plus particulièrement l'objet de cette note renferme, en outre, un minéral qui, à ma connaissance, n'a jamais été trouvé dans de semblables conditions, la *wollastonite*. Ce filon a environ 2 mètres d'épaisseur; il se trouve à la base du Roc Blanc, au fond de la petite vallée de Barbouillères. La roche est à grains fins, mais présente par places des éléments constituants qui mesurent un centimètre de plus grande dimension. A l'œil nu, on distingue, au milieu des feldspaths d'un blanc de lait qui dominent de beaucoup, de petits prismes verts de diopside et de la *wollastonite* en cristaux fibrolamellaires d'un jaune rosé, qui sont également répartis au milieu des autres éléments.

L'examen microscopique permet de préciser cette composition ; j'ai observé, en effet, les minéraux suivants : apatite, sphène, feldspaths (microcline dominant, albite, albite-oligoclase, oligoclase), diopside, wollastonite, et enfin un peu de

(1) Le granite des Pyrénées et ses phénomènes de contact (premier mémoire) : *Bull. Carte géol. France*, n° 64, t. X, 1898; et *C. R.*, CXXIII, 1025, 1898.

Digitized by Google

quartz, sans parler de quelques produits secondaires microscopiques (calcite, épidote et zoïsite, damourite).

L'apatite en petits prismes est rare, le sphène abondant, pléochroïque dans les teintes roses, ne présente aucune particularité intéressante.

Le microcline à fines macles quadrillées est l'élément dominant de la roche ; il est remarquablement frais, parfois traversé de bandelettes d'albite. Les plagioclases calcosodiques sont fréquemment altérés, troubles, remplis de baguettes de zoïsite et d'épidote et de lamelles de d'amourite ; leurs contours sont déchiquetés et leurs cristaux terminés invariablement par une bordure d'albite limpide. L'albite se présente aussi en cristaux indépendants ; mais on peut se demander si, en réalité, ils ne proviennent pas toujours de la transformation de feldspath calcosodique.

L'étude des sections perpendiculaires aux deux bissectrices permet de déterminer facilement tous ces feldspaths ; le plagioclase limpide présente les extinctions (prises dans le sens indiqué par M. Fouqué), de 74° dans les sections perpendiculaires à n_p et de 20° environ dans celles perpendiculaires à n_g (bissectrice aiguë), et sont à rapporter à l'albite, tandis que les feldspaths troubles présentent dans les sections n_p des extinctions variant de 84° à 74° et dans celles perpendiculaires à n_g de 10° à 30° environ. Ces divers nombres s'observent soit dans le même individu zoné, soit dans des cristaux distincts ; ces plagioclases sont donc bien à rapprocher des oligoclases et varient de l'oligoclase-albite à l'oligoclase-andésine, mais avec prédominance des types les plus acides.

Le diopside est vert pâle en lames minces et possède généralement des plans de séparation suivant h^1 (100).

La *wollastonite*, qui constitue l'élément intéressant de cette roche, forme des baguettes fibrolamellaires parfois

Digitized by Google

groupées en gerbes. Elle est incolore en lames minces; ses clivages de la zone d'allongement ph^1 (001) (100) sont fins et rectilignes. Les baguettes sont terminées par un pointement aigu dont le symbole exact n'a pu être précisé. L'extinction de la zone de symétrie, le plan des axes optiques transversal à l'allongement, la bissectrice aiguë négative, la faible biréfringence et le relief comparable à celui du diopside, constituent les éléments de diagnostic du minéral qui fait gelée avec l'acide chlorhydrique. Il est imprégné de calcite; il est impossible de l'en purifier mécaniquement, et cette impureté explique la densité un peu faible (2,81) qui a été constatée sur une parcelle de la substance, débarrassée de feldspath et de pyroxène par l'emploi des liqueurs denses.

La structure de la roche est franchement granulitique; l'ordre de succession de ses éléments est le suivant : l'apatite et le sphène sont inclus dans tous les autres minéraux; le diopside est au moins en partie postérieur aux oligoclases qu'il enveloppe souvent; la wollastonite moule le diopside. Tous les minéraux précédents sont englobés par du microcline. J'ai indiqué plus haut que l'albite me paraît entièrement secondaire ; si l'on n'admet pas cette hypothèse pour les petits cristaux dépourvus d'un noyau d'oligoclases, ils seraient contemporains de ces plagioclases, car je les ai trouvés enveloppés dans du diopside.

Quant au quartz, souvent très peu abondant ou même presque absent, il est grenu, soit englobé dans le microcline (j'en ai vu un grain moulé par la wollastonite), soit entourant les cristaux de ce minéral.

Ce filon, pas plus que les filons analogues dépourvus de wollastonites ne peut être considéré comme le remplissage de fentes par une dernière poussée du magma granitique. En effet, ni les uns ni les autres ne traversent le gra-

Digitized by Google

nite ni ses formes endomorphes ; ils partent directement du contact de celles-ci et des roches métamorphiques. Le passage à la roche éruptive est brusque, et il n'y a souvent entre les deux roches aucun minéral commun ; c'est ainsi, par exemple, qu'on voit des filons constitués par du microcline, de l'albite, du quartz et du pyroxène, s'appuyer sur une paroi de diorite (constituée par de la hornblende, de la biotite et des plagioclases basiques), avec une zone de transition ne dépassant pas quelques centimètres.

Il est donc nécessaire d'admettre que ces filons, qui n'existent que dans les contacts granitiques, sont le résultat de transports moléculaires effectués par l'intermédiaire d'agents minéralisateurs ou hydrothermaux ayant accompagné le magma granitique. Cette origine est encore prouvée par les passages insensibles de ces filons à des remplissages incomplets de fentes, dans lesquelles se rencontrent de beaux cristaux de microcline, d'orthose, d'albite, de quartz, d'épidote, etc.

La considération de la nature des minéraux constituant les filons qui nous occupent conduit à un autre résultat important ; les plus abondants d'entre eux, les feldspaths potassiques et sodiques, les plagioclases très acides, le quartz, sont précisément ceux-là mêmes dont j'ai montré la production intense par action exomorphe, non seulement dans les schistes paléozoïques transformés au contact du granite de ces mêmes gisements, mais encore dans les calcaires et les cornéennes traversés par les filons qui nous occupent. *Ces filons constituent donc une preuve matérielle de la réalité de ces apports durables qui, dans un très grand nombre de cas, constituent le caractère essentiel des transformations métamorphiques de contact des roches éruptives ;* ils résultent de la concentration de ces apports dans les fentes de la roche sédimentaire, quand celle-ci, par

Digitized by Google

suite d'une entière transformation, a cessé de pouvoir les absorber pour donner naissance aux divers types métamorphiques.

Les minéraux calciques et magnésiens (pyroxène, wollastonite, épidotes), que ces filons renferment en petite quantité, résultent de la réaction de la paroi du filon sur les produits volatils ou dissous qui circulaient à sa proximité, et il n'est pas sans intérêt, à ce propos, de remarquer que ce sont, eux aussi, les minéraux formés dans les sédiments métamorphiques voisins. Ainsi, les filons coupant les roches sédimentaires et formés sans aucun doute par apport extérieur à celles-ci, de même que les couches sédimentaires métamorphiques elles-mêmes tendent d'une façon générale vers une composition minéralogique *qualitative* semblable ; mais il y a plus : quand l'influence de la paroi a été considérable, au lieu d'être limitée comme dans la plupart des cas, le remplissage des filons est constitué par des épidotites ou pyroxénites feldspathiques ou quartzeuses qui ne diffèrent pas *quantitativement* de celles qui résultent de la transformation des couches sédimentaires. C'est là encore une preuve nouvelle en faveur de la théorie qui se refuse à ne voir dans les phénomènes de contact que de simples transformations physiques des sédiments qui les présentent.

Sur le diagnostic de la prehnite dans les roches

Par M. A. Lacroix.

Dans une note antérieure, j'ai indiqué quelles étaient les propriétés les plus commodes à employer pour arriver rapidement, dans les lames minces de roches, à la détermination des zéolites et de quelques minéraux qui les accompagnent généralement (prehnite, etc.).

Digitized by Google

J'ai étudié récemment des roches grenues à plagioclase et hornblende brune formant des filons minces dans la *picrite à hornblende*, traversant le crétacé d'Adé (Hautes-Pyrénées) ; le plagioclase de ces roches est entièrement transformé en albite, *prehnite*, grenat grossulaire, mélangés en diverses proportions. L'examen de cette prehnite m'engage à appeler l'attention des pétrographes sur le diagnostic différentiel de ce minéral et de la thomsonite.

Ces deux minéraux ont une biréfringence voisine (dans la thomsonite $n_g - n_p = 0{,}034$, et dans la prehnite 0,027), de beaucoup supérieure à celle des autres zéolites ; elle ne peut-être le plus souvent mesurée exactement, à cause des superpositions qui se produisent dans les fibres ou plages fibrolamellaires que l'on rencontre dans les roches.

J'ai indiqué autrefois, comme distinctif des fibres de ces deux minéraux, le signe d'allongement. En effet, dans la *thomsonite*, le plan des axes optiques est perpendiculaire à la zone d'allongement [$h^1(100)g^1(010)$] ; par suite, les fibres sont tantôt positives et tantôt négatives. Quant à la *prehnite*, j'ai donné son allongement comme ayant lieu suivant l'angle $pg^1(001)(010)$, le plan des axes optiques étant parallèle à $g^1(010)$, et la bissectrice aiguë positive (n_g) perpendiculaire au clivage facile p (001) ; l'allongement est alors toujours négatif.

Cette direction d'allongement de la prehnite n'a pas la généralité que je lui ai attribuée ; dans quelques gisements et en particulier dans ceux des Pyrénées auxquels je viens de faire allusion, au contraire, les fibres sont allongées suivant l'arête $ph^1(001)(100)$, comme dans les cristaux de Harzburg dans le Radauthal ; il en résulte que les fibres ainsi orientées sont tantôt positives et tantôt négatives, comme celles de thomsonite.

Ainsi, quand la prehnite présente cet allongement, les

Digitized by Google

deux minéraux ont de nombreuses propriétés communes : le signe variable d'allongement (plan des axes optiques transversal), le même signe de la bissectrice aiguë (n_g), l'allongement de la section perpendiculaire à la bissectrice étant, par suite, positif (direction de n_m) ; de plus, la biréfringence élevée ne peut souvent être mesurée avec assez de précision pour distinguer les deux minéraux. La *réfringence*, facile à constater avec le procédé Becke, permet seule de différencier les deux minéraux ; pour la prehnite $n_m = 1,626$, et pour la thomsonite 1,503 seulement. La prehnite est donc toujours plus réfringente, et la thomsonite moins réfringente que les feldspaths de la roche, quels qu'ils soient, du reste.

Le diagnostic peut être complété par le traitement de la plaque par l'acide chlorhydrique à 40° C., qui attaque la thomsonite et ne décompose pas la prehnite.

Minéraux nouveaux.

Baddeckite.—Variété de muscovite décrite par M. G.-C. Hoffmann (*Am. J. of S.*, p. 275, sept. 1898) et trouvée à moins de 1 kilomètre de la ville de Baddeck (Victoria C°, Nouvelle-Ecosse), où elle se présente en petites écailles isolées situées dans une argile plastique. Sa couleur est rouge de cuivre, son éclat est perlé. La densité est 3,252. Elle fond au chalumeau et devient alors magnétique. L'analyse a donné les résultats suivants :

SiO^2, 48,96 ; Alumine, 13,85 ; Fe^2O^3, 25,82 ; CaO, 1,17 ; MgO, 2,65 ; K^2O, 3,47 ; Na^2O, 0,22 ; H^2O, 3,78. Total : 99,92.

Ils conduisent à la formule :

$$H^4(Ca, Mg, K^2, Na^2)\,(Fe^2Al^2)^3\,Si^8O^{28}.$$

Ce minéral est donc une muscovite hydratée dans laquelle une notable proportion d'alumine est remplacée par du fer.

Digitized by Google

Planoferrite. — M. L. Darapsky a décrit sous ce nom (*Z. f. K.*, t. XXIX, p. 213, 1898) un sulfate hydraté de fer trouvé à la mine de cuivre de Lautaro (Atacama). Il possède une couleur jaune verdâtre ou brune, a la dureté de la calcite et se dissout légèrement dans l'eau.

M. Grünling a constaté que, sur des cristaux en tables hexagonales ou rhombiques, la présence de clivages et les propriétés optiques permettent de supposer que le minéral appartient au système rhombique.

L'analyse a donné les résultats suivants :

Fe^2O^3, 31,20 ; SO^3, 15,57 ; H^2O, 51,82 ; Partie insoluble, 1,41.

Ils sont représentés par la formule :

$$Fe^2O^3,SO^3,15H^2O.$$

Ce minéral provient de la décomposition de la copiapite.

Kubeite. — Ce minéral se présente en cristaux rouges, à éclat vitreux, très brillants et appartenant probablement au système orthorhombique ou monoclinique. Il a été trouvé à Atacama (riv. de Soa). Sa composition est la suivante :

SO^3, 36,4 ; Fe^2O^3, 19,3 ; MgO, 7,8 ; H^2O, 33,7 ; CaO, 0,1.

Partie insoluble, 2,7.

La formule $2(Fe^2O^3, 2SO^3) + 3(MgO,SO^3) + 30H^2O$ représente cette composition qui est voisine de celle de l'alun de magnésie (L. Darapsky, *N. Jahrb. f. Min.*, t. I, p. 163 ; 1898).

Heulandite barytique. — Les cavités de l'andésite à hornblende de Cape Pula (Sardaigne) sont incrustées d'une variété de heulandite transparente et colorée en rose. Les cristaux présentent les formes *mp* et h^1. Leur composition est la suivante :

SiO^2, 56,67 ; Al^2O^3, 16,86 ; BaO, 2,55 ; CaO, 3,61 :
Na^2O, 3,27 ; H^2O, 17,05

(D. Lovisato, *Rend. R. Acc. Lincei*, 1895, t. VI, p. 260-264).

Digitized by Google

Cedarite. — Cette nouvelle résine fossile du Canada, décrite par M. R. Klebs (*Jahrb. der K. preuss. geol. Land.*, 1896, p. 1), a la composition suivante : C, 78,15 ; H, 9,89 ; S, 0,31 ; O, 11,20 ; cendres, 0,45. Elle fond à 340°.

Comptes rendus des publications étrangères.

L.-J. Spencer. — *Augelite d'une nouvelle localité de Bolivie* (*Min. Mag.*, juin 1898, p. 1, vol. XII).

Ce rare minéral n'était connu que dans deux gisements, à Westanå (Suède) et à Machacamaca (Bolivie). L'auteur décrit celui qui a été trouvé dans les mines d'argent de Tatasi et Portugalete (Potosi). L'augelite a été observée sur de la pyrite, qu'elle incruste dans un tuf volcanique acide contenant dans ses cavités des cristaux de pyrite, de chalybite, de gypse et de calcite. Par ses caractères extérieurs, elle ressemble à de la barytine et se présente en petits cristaux montrant les faces (110), (001), (334), (112), ($\bar{1}01$), et (910) qui est nouvelle.

G.-T. Prior et L.-J. Spencer. — *Argyrodite stannifère de Bolivie. Identité de la brongniardite cristallisée avec l'argyrodite-canfieldite* (*Ibid.*, p. 5).

La canfieldite et l'argyrodite ont la même formule et cristallisent dans le même système ; mais, dans le premier minéral, le germanium est remplacé partiellement par l'étain ; sa formule est $(Sn,Ge)S^6Ag^8$, au lieu de GeS^6Ag^8, qui est celle de l'argyrodite. Cela résulte des observations de MM. S.-L. Penfield et de A. Weisbach. MM. Prior et Spencer ont examiné les petits cristaux formant une espèce

Digitized by Google

de croûte sur la pyrargyrite de Aullagas et ont constaté que ces cristaux présentaient des formes très variées et que parfois ils étaient maclés : 1° des cristaux non maclés ayant la forme de l'octaèdre modifiée légèrement par b^1; 2° des cristaux dodécaédriques toujours maclés; 3° des cristaux octaédriques maclés suivant la loi des spinelles. Aucun caractère n'indique que ces cristaux soient hémiédriques; ceux d'argyrodite de Freyberg sont tétraédriques, d'après M. A. Weisbach.

L'analyse a donné les résultats suivants :

Ag, 74,20; Ge, 4,99; Sn, 3,36; S, 16,45; Fe, 0,68; Sb, traces.

Ils sont représentés à peu près par la formule :

$$5(4Ag^2S.GeS^2) + 2(4Ag^2S.SnS2^2).$$

Les petits cristaux octaédriques recouvrant la brongniardite de Potosi (Bolivie), décrite par M. A. Damour, présentent des caractères cristallographiques et chimiques identiques à ceux des cristaux de Aullagas; aussi sont-ils constitués par de l'argyrodite-canfieldite. La petite quantité de matière à la disposition des auteurs ne leur ont pas permis de faire l'analyse quantitative.

O.-C. Farrington. — *Datholite de Guanajuato* (*Am. J. of Sc.*, avril 1898, p. 285).

Les cristaux de datholite de Guanajuato sont transparents, presque incolores, à éclat vitreux. Ils ont une forme tabulaire (la face d'aplatissement est 102); leur longueur ne dépasse pas 4 millimètres, et leur épaisseur 1 millimètre. Les 17 formes suivantes ont été observées: (100), (010), (320), ($\bar{1}$10), ($\bar{1}$20), ($\bar{1}$30), ($\bar{1}$02), ($\bar{3}$02), (013), (012), (011), (111), ($\bar{1}$15), ($\bar{1}$14), ($\bar{1}$13), ($\bar{1}$12), ($\bar{1}$11). Ces cristaux ressemblent à ceux des Alpes du Tyrol, décrits par Franzenau, à ceux de Bergen Hill (N.-J.), décrits par M. E.-S. Dana.

Digitized by Google

OTTO LUEDECKE. — *Sur la langbeinite* (*Z. f. K.*, t. XXIX, p. 255; 1898).

La langbeinite, qui est un sulfate anhydre de potasse et de magnésie ($K^2Mg^2S^3O^{12}$), est le premier produit naturel présentant la tétartoédrie du système cubique (hémiédrie tétraédrique et hémiédrie du dodécaèdre pentagonal). Beaucoup de substances artificielles appartenant à la même classe possèdent le pouvoir rotatoire (chlorate de soude, etc.), d'autres en sont dépourvues (azotate de baryte, etc.). La langbeinite, comme ces derniers, ne montre pas la polarisation rotatoire.

JOLY. — *Sur le changement du volume des minéraux au voisinage de leur point de fusion* (*Tr. of R. Dubl. Soc.*, vol. VI, p. 283; 1897).

L'auteur évalue les coefficients de dilatation à de très hautes températures :

		$\frac{L_2 - L_1}{L_1}$	$\frac{V^2 - V_1}{V_1}$
Diamant :	400°	0,00114	0,00342
	580°	0,00193	0,00579
	686°	0,00265	0,00795
	750°	0,00338	0,01014
Augite :	820°	0,00592	0,01676
	1.110°	0,01052	0,03156
Orthose :	390°	0,0016	0,0048
	1.090°	0,0059	0,0177
	1.350°?	0,0088	0,0264

Le procédé employé pour mesurer la dilatation est le suivant: une sphère de la substance à étudier est photographiée à toutes les températures expérimentées. Ces photographies sont très fortement amplifiées, et leurs dimensions permettent de calculer les dilatations.

Digitized by Google

M. R. Cusack. — *Point de fusion des minéraux* (*Proc. R. Irish Academy*, t. XVIII, p. 309-413 ; 1898).

M. R. Cusack donne les résultats de ses recherches sur le point de fusion des minéraux

Actinote	1272° à	1288°	Adulaire	1164° à	1168°
Trémolite	1219	1223	Albite	1172	
Hornblende	1187	1200	Microcline	1169	
Diopside	1187	1195	Labrador	1223	1235
Diallage	1264	1300	Tourmaline	1012	1102
Augite	1187	1199	Disthène	1090	
Spodumène	1173		Sphène	1125	1142
Enstatite	1295		Staurotide	1115	
Wollastonite	1203	1208	Andalousite	1209	
Olivine	1363	1378	Cuprite	1162	
Almandin	1263	1268	Zincite	1260	
Idocrase	1024	1035	Cassitérite	1127	
Epidote	954	976	Rutile	1560	
Zoïsite	995		Brookite	1560	
Dioptase	1175		Uraninite	1188	
Axinite	995		Vivianite	1114	
Méionite	1281		Apatite	1221	1227
Néphéline	1059	1070	Molybdenite	1185	
Sodalite	1127	1136	Galène	727	
Leucite	1298		Blende	1049	
Quartz	1425				

L'appareil employé est le meldomètre de Joly. Cet instrument est formé par un ruban de platine chauffé par un courant électrique qu'on règle au moyen d'un rhéostat, de telle façon qu'on peut obtenir la température qu'on veut. Les substances à examiner sont réduites en poudre. Les graines de cette dernière sont placées sur le ruban de platine et examinées au microscope, ce qui permet de voir à quel

Digitized by Google

moment précis commence la fusion. L'appareil a été gradué avec des substances dont le point de fusion est connu.

Lord Kelvin (*Phil. Magaz.*, n° 1 ; 1899) publie les résultats des recherches de Roberts-Austen sur le point de fusion de quelques minéraux, résultats assez différents des précédents :

Feldspath	1 520°	Hornblende	1 400°
Mica	1 440	Quartz	1 775

F.-S. Kipping et W.-P. Pope. — *Énantiomorphisme* (*J. of Chem. Soc.*, Londres, vol. LXXIII, p. 606, août 1898).

Les auteurs étudient l'influence des substances douées du pouvoir rotatoire à l'état liquide sur la formation des cristaux dextrogyres et lévogyres d'un corps énantiomorphe seulement à l'état solide, comme le chlorate de soude. Ils ont constaté qu'une solution dans l'eau pure de chlorate de soude abandonne, par évaporation lente, autant de cristaux gauches que de cristaux droits. Si on ajoute à la solution de chlorate de soude des matières douées du pouvoir rotatoire, le nombre de cristaux droits et gauches n'est plus à peu près le même. L'addition des substances change ces nombres.

Le tableau suivant résume les résultats obtenus :

Solution pure de	Nombre d'expériences	Nombre des cristaux	U*d*	W*s*
$NaClO^3$	46	3137	50,83	50,08
— + 20 0/0 de dextrose.	25	2465	32,30	31,75
— + 5 0/0 de mannitol.	11	261	44,80	44,83
— + 6 0/0 —	37	1386	40,58	40,55

U*d* et W*d* sont égaux respectivement à $\frac{100}{n}\Sigma\left(\frac{d+l}{d}\right)$ et $\frac{100\Sigma d}{\Sigma(d+l)}$, *d* représente le nombre de cristaux droits,

Digitized by Google

l le nombre de cristaux gauches, et *n* le nombre d'expériences.

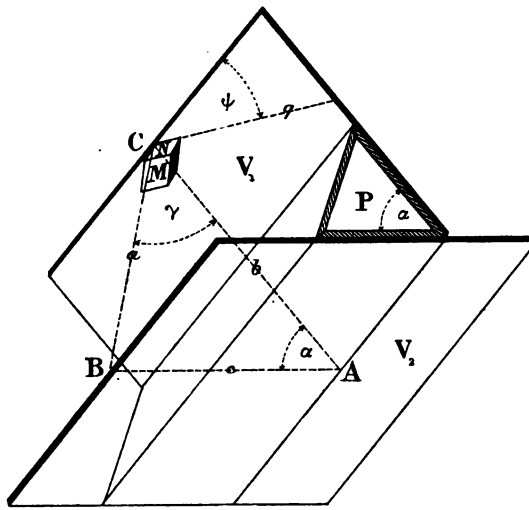
F. Stöber. — *Notice sur un appareil permettant de tailler un cristal suivant une direction déterminée et sur une méthode de taille des plaques aux faces parallèlles* (*Bull. Ac. de Belgique*, 3e série, t. XXXIII, p. 843; 1897).

MM. Rauff, Fuess, Wülfing, Tutton, Halle, ont déjà imaginé des appareils pour tailler un cristal suivant une direction déterminée; mais, soit qu'ils manquent de précision, comme celui de Halle, qu'ils soient très compliqués comme celui de Tutton, ou qu'ils exigent une série d'opérations géométriques demandant beaucoup de temps (appareil de Wülfing), ils sont fort peu employés. Le dispositif imaginé par M. Stöber, tout en donnant la même précision que ceux de MM. Wülfing et Tutton, est beaucoup plus simple que ces derniers. Il repose sur le fait qu'une face est déterminée quand on connaît son inclinaison sur un plan donné et une droite contenue dans ce plan et par laquelle passe la face considérée. La droite située dans le plan donné peut être une arête formée par un second plan, une ligne de clivage, une trace de macle, etc.

L'appareil se compose d'un prisme creux, P, en cuivre, à faces bien planes de 9 centimètres de hauteur et dont la base est un triangle équilatéral de 3 centimètres de côté. Une lame de verre rectangulaire V_1 est fixée avec du baume de Canada sur l'une des faces latérales du prisme, de façon qu'un de ses côtés coïncide avec l'arête de ce dernier. Une autre lame V_2 est appliquée sur une autre face, mais elle peut se déplacer, ses bords devant être toujours parallèles aux arêtes du prisme. Il faut orienter le cristal et les plaques de

Digitized by Google

verre de manière que le plan, passant par les arêtes libres de chaque plaque, occupe la position de la face à tailler. Pour expliquer le fonctionnement de l'appareil, supposons qu'il



s'agisse de polir une face donnée X sur un cristal terminé par deux faces M et N dont la position est connue et qui se coupent suivant une arête réelle q ; on calcule l'angle γ formé par la face X et l'une des deux faces M et N. M, par exemple, ainsi que l'angle ψ, que l'arête q fait avec la trace de X sur la face M. La résolution du triangle ABC dont on connaît le côté b et l'angle α, qui sont mesurés une fois pour toutes, et γ donne la longueur c. On trace sur la plaque V_2 une ligne marquant la largeur c, et on déplace cette plaque jusqu'à ce que ladite ligne coïncide avec l'arête du prisme. Le cristal est ensuite fixé par la face M sur la plaque V_1, de façon que q forme avec le bord de V^1 l'angle ψ, donné par le calcul. Lorsque l'angle γ est inférieur à 30°, on fait glisser la plaque V_2

Digitized by Google

dans un sens opposé à celui qui a été indiqué plus haut, et le cristal se place alors sur la face inférieure de V_1.

M. Stöber arrive ainsi à polir des faces coïncidant presque avec celles qu'il a calculées.

Les angles entre faces calculées et obtenues ne dépassent pas 15′.

M. W. Travers. — *L'origine des gaz dégagés en chauffant les minéraux et les météorites* (*Proc. of the Roy. Soc.*, n° 405, décembre 1898, p. 130).

Les gaz comme l'hydrogène, l'oxyde de carbone, l'azote, l'hélium et l'argon (gaz difficilement liquéfiables), existent à l'état libre dans les substances minérales desquelles ils se sont dégagés en chauffant. Le fait est démontré par l'existence des cavités contenant ces gaz, ces dernières pouvant être dans quelques cas observées au microscope. Ces cavités peuvent avoir l'apparence d'être vides ou contenir un liquide. Dans ce dernier cas, si le minéral est chauffé, ce liquide disparaît à une température qui est de quelques degrés inférieure au point critique de l'acide carbonique. Mais, dans la majorité des cas les gaz qui se dégagent, sous l'influence de la chaleur, d'une substance minérale, sont le produit de la décomposition et de l'action réciproque de ses constituants non gazeux au moment des expériences.

L. Reese. — *Inclusions de pétrole dans les cristaux de quartz* (*Journ. Am. Chem. Soc.*, t. XX, p. 795).

Les cristaux de quartz considérés viennent de Diamond près Guntersville, Marshall C°, Alabama. Ils sont transparents et bien formés. Les cavités contenant les inclusions de pétrole sont placées au-dessous des faces du rhomboèdre. Les inclusions ont environ $2,3 \times 1,8 \times 1$ millimètre.

Digitized by Google

T.-A. Jaggar. — *Un microscléromètre pour la détermination de la dureté des minéraux* (*Am. J. of Sc.*, déc. 1897, t. IV, p. 399).

Le principe de l'instrument est le suivant :

Une pointe de diamant, de dimensions constantes, tourne sur la section d'un minéral avec une vitesse uniforme et avec une charge déterminée. Le nombre de rotations de la pointe et le temps nécessaire pour que cette pointe puisse pénétrer à une profondeur déterminée dans le minéral dépendent de la résistance de ce dernier à l'érosion par le diamant, et, par conséquent, leur évaluation donne la dureté.

Le cristal de diamant choisi a la forme d'un tétraèdre. Il agit sur un minéral ou sur une plaque de roche placée sur la platine du microscope. La profondeur de la petite cavité creusée par la pointe est mesurée au moyen de la vis micrométrique du microscope. Cet appareil permet, par conséquent, d'évaluer la dureté des minéraux microscopiques.

Le tableau suivant donne les résultats auxquels l'auteur est arrivé en comparant les types de l'échelle de Mohs. Les résultats obtenus par Pfaff et par Rosiwall, placés à côté, montrent, par les différences qu'ils présentent, que la dureté d'un corps est une propriété très mal définie.

	Pffaff 1884	Rosiwall 1892	Jaggar 1897
9 Corindon.....	1000	1000	1000
8 Topaze.....	459	138	152
7 Quartz.....	254	149	40
6 Orthose.....	191	28,7	25
5 Apatite.....	53,5	6,20	1,23
4 Fluorine.....	37,3	4,70	0,75
3 Calcite.....	15,3	2,68	0,26
2 Gypse	12,03	0,34	0,04

Digitized by Google

C. Klein. — *Sur la leucite et l'analcime et leurs relations réciproques* (*Sitz. der Akad. der Wiss. Berlin*, t. XVI, mars 1897).

La première partie de ce mémoire contient une étude très complète des travaux relatifs aux anomalies optiques de la leucite et de l'analcime. La seconde partie est d'abord consacrée à la description des instruments employés pour les recherches optiques et thermiques. L'instrument, qui s'adapte sur la platine du microscope et qui est destiné à porter les plaques des minéraux examinés à une température élevée, permet en même temps d'évaluer exactement cette dernière au moyen d'un appareil basé sur le même principe que celui de M. Le Châtelier.

M. C. Klein a constaté qu'une plaque de leucite devenait monoréfringente vers 560°. Il admet qu'à la température ordinaire la symétrie de la leucite est rhombique, mais très voisine de celle du système quadratique. La bissectrice aiguë est positive.

L'analcime, chauffée à 200-250° dans une atmosphère saturée de vapeur, devient isotrope, tandis qu'à 500° elle devient de nouveau réfringente. A la température ordinaire l'analcime est monoclinique, mais sa symétrie est très voisine de celle du système quadratique. La bissectrice aiguë est négative. M. Klein admet que les anomalies optiques de la leucite sont dues à ce que cette substance cubique à 560° change de structure moléculaire par refroidissement. Les anomalies optiques de l'analcime sont dues à une perte d'eau.

Digitized by Google

TABLE PAR NOMS D'AUTEURS

DES TRAVAUX ORIGINAUX PUBLIÉS DANS LE TOME XXI.

Pages.

ROURGEOIS (Léon). — Rapport du trésorier. 1
— Sur un phosphate d'urane cristallisé. 32
— Sur un chlorate basique de cuivre cristallisé 170
CUMENGE (E.). — Sur le gite cuprifère d'Inguaran. Etat de Michoacan (Mexique). 137
DUFET (H.). — Sur les propriétés optiques du calomel (protochlorure de mercure) 89
FRIEDEL (G.). — Sur l'eau des zéolithes. 5
— Muscovite compacte de Montrambert (Loire) 135
GAUBERT (P.). — Compte rendu des publications étrangères. 176-264-279-281
DE GRAMONT (A.). — Analyse spectrale des minéraux non conducteurs par les sels fondus. 94
LACROIX (A.). — Notes sur les minéraux et les roches du gisement diamantifère de Monastery (Etat libre d'Orange) et sur ceux de Griqualamd 21
— Sur le sel gemme métamorphique de Salies-du-Salat. . . 29
— Les formes du gypse des environs de Paris 39
— Sur l'existence de la wollastonite comme élément d'une aplite 272
— Sur le diagnostic de la prehnite dans les roches. 277
PISANI. — Présentation de minéraux . . . . . 31 et 267
SCHULTEN (A. DE). — Production artificielle de la périclase par un nouveau procédé. 87
— Reproduction artificielle de la lanarkite. 142
— Reproduction artificielle de la lautarite 144

Digitized by Google

Pages.

TERMIER (P.). — Sur une variété de zoïsite des schistes métamorphiques des Alpes et sur les propriétés optiques de la zoïsite classique 148
WALLERANT (F.). — Mémoire sur la fluorine. 44
— Théorie des anomalies optiques, de l'isomorphisme et du polymorphisme, déduite des théories de MM. Mallard et Sohncke. 188
— Méthode de détermination rapide des feldspaths des roches. 268
WYROUBOFF (G.). — Notice sur A. Schrauf 259

Digitized by Google

TABLE ALPHABÉTIQUE ET ANALYTIQUE

DES MATIÈRES

CONTENUES DANS LE TOME XXI

ABRÉVIATIONS USITÉES DANS CETTE TABLE

An. Analyse.
Const. Constitution.
Crist. Étude cristallographique.
Min. nouv. Minéral nouveau.
Opt. Étude optique.
Synth. Synthèse.
Spect. Spectre.

A

Acétylène (tétrabromure d'), L. Bourgeois.
Aérinite (spect.) (de Gramont), 124.
Albite (spect.) (de Gramont), 115.
— (opt.) (Wallerant), 270.
Aluminium (spect.) (de Gramont), 112.
Analcime (G. Friedel), 8.
Analyse spectrale (de Gramont), 94.
Andésine (opt.) (Wallerant), 270.
Andorite (Prior et Spencer), 181.
Angles des cristaux (Goldschmidt), 145.
Anomalies optiques (fluorine) (Wallerant), 44.
Anomalies optiques (théorie des) (Wallerant), 188.
— (C. Klein), 291.
Anorthite (det. opt.) (Wallerant), 270.
— (spect.) (de Gramont), 117.
Anorthose (dét. opt.) (Wallerant).
Apophyllite (Monastery) (A. Lacroix), 24.
Appareils (producteurs de l'étincelle) (de Gramont), 97.
Appareils (taille des cristaux) (Stöber).
Argyrodite (Potosi) (Prior et Spencer), 281.
Argyrodite (Aullagas) (Prior et Spencer), 281.
Arséniate d'urane (L. Bourgeois), 38.
Augelite (Potosi) (Spencer), 281.
Asinite (spect.) (de Gramont), 122.

B

Baddeckite (min. nouv.) (Hoffmann), 279.
Barytine (spect.) (de Gramont), 126.
Baryum — — 108.
Beresowite (min. nouv.) (Samoïlow), 180.
Béryl (spect.) (de Gramont), 120.
Blende (spect.) — 128.
Bliabergite (Weibull), 181.
Boléite (an. opt.) (Wallerant), 253.
Boracite (an. op.) (Wallerant), 246.
Bowlingite (Monastery) (Lacroix), 26.
Bromate de soude (anopt.) (Wallerant). 224.
Brongniardite (Aullagas) (Prior et Spencer), 282.

Digitized by Google

C

Calcite (spect.) (de Gramont), 124.
Calcium (spect.) (de Gramont), 105.
Calomel (opt.) (Dufet), 90.
Carbonates (spect.) (de Gramont), 124.
Carbone (spect.) — 100.
Cassinite (spect.) — 114.
Catapleite (Groënland) (Pisani), 31.
Cédarite (min. nouv.) (Klebs), 281.
Célestine (spect.) (de Gramont), 126.
Cesium (spect.) (de Gramont), 104.
Chalcostibite (Penfield et Frenzel), 182.
Chlorate basique (L. Bourgeois), 170.
Chlorate de soude (an. opt.) (Wallerant), 224.
Chlorate de soude (Kipping et Pope)
Chlorate de soude (réseau) (Wyrouboff), 90.
Chrome (spect.) (de Gramont), 110.
Clinohédrite (min. nouv.) (Penfield et Foote), 177.
Cristal (taille) (Stober), 286.
Cryolite (spect.) (de Gramont), 129.

D

Datholite (Guanajuato) (Farrington), 282.
Derbylite (min. nouv.) (Hussak et Prior), 134.
Diamant (Monastery) (A. Lacroix), 25.
Dicksbergite (Weibull), 181.
Dilatation (minéraux) (Joly), 283.
Diopside (Monastery) (A. Lacroix), 22.

E

Eau (zéolithes) (G. Friedel), 5.
Elpidite (Groënland) (Pisani), 32.
Enantiomorphisme (Kipping et Pope), 285.
Epididymite (Groënland) (Pisani), 267.
Eronite (min. nouv.) (A.-S. Eakle), 180.

F

Feldspath (détermination) (Wallerant).
— (spect.) (de Gramont), 113.
Fergusonite (W. Ramsay et M. W. Travers), 184.
Figures de corrosion (fluorine) (Wallerant), 57.
— bobute — 256.
— (chlorate de soude) — 226.
— (nitrate de plomb) — 228.
— pyréneite — 251.
— (min. tricliniques) (Walker), 182.
Fluorine (an. opt.) (Wallerant), 49.
— (fig. corr.) — 57.
— (clivages) — 63.
— (groupements) — 65.
— (Paris) — 49.
— (Weardal) — 69.
— (Altenberg) — 73.
— (Andréasberg) — 76.
Fusion des minéraux (Cusack), 284.

G

Garniérite (spect.) (de Gramont), 122.
Gaz des minéraux (Travers), 288.
Gisements diamantifères (A. Lacroix), 21.
Gîte cuprifère (Inguaran) (Cumenge), 137.
Glucinium (spect.) (de Gramont), 109.
Grenat pyrope (Monastery) (A. Lacroix), 22.
— spessartine (spect.) (de Gramont), 121.

Digitized by Google

Grenat mélanite (fig. corr.) (Wallerant, 251.
Grunlingite (min. nouv.) (Muthmann et Schröder), 132.
Guéjarite (S. Penfield et Frenzel), 182.
Gypse (Paris) (A. Lacroix), 39.
— (spect.) (de Gramont), 125.

H

Harzburgite (Monastery) (A. Lacroix), 26.
Heulandite barytique (Sardaigne) (Lovisato), 280.

I

Ilménite (comp.) (Penfield), 182.
— (Monastery) (A. Lacroix), 23.
Ilvaite (Groënland) (Pisani), 32.
Inclusions de pétrole (Reese), 288.
Indices de réfraction (calomel) (Dujet), 90.
— (feldspaths) (Wallerant), 268.
Isomorphisme (Wallerant), 188.

K

Kalgoorlite (min. nouv.) (Pittman), 179.
Kentrolite (comp.) (C.-H. Warren), 266.
Kimberlite (Monastery) (A. Lacroix), 24.
Krennerite (Colorado) (A. Lacroix), 183.
Kubeite (min. nouv.) (Darapsky), 280.

L

Labrador (spect.) (de Gramont), 117.
— (dét.) (Wallerant).
— **bytownite** (Wallerant).
Lanarkite (synth.) (A. de Schulten).
Langbeinite (crist.) (Luedecke), 283.
Lautarite (synth.) (A. de Schulten), 144.
Leucite et analcime (Klein), 290.
Lherzolite (Monastery) (A. Lacroix), 26.
Lithium (spect.) (de Gramont), 102.

M

Magnésium (spect.) (de Gramont), 108.
Manganèse — — 109.
Mélanges isomorphes (Wallerant), 216.
Melanotékite (Hillsboro) (Warren), 266.
Meldomètre, (de Joly, 284.
Mériédriques (formes) (Wallerant), 201.
Métaux alcalins (spect.) (de Gramont), 102.
— **alcalino-terreux** (spect.) (de Gramont), 105.
Microcline (dét. opt.) (Wallerant), 270.
— (Querigut) (A. Lacroix), 274.
Microscléromètre (Jaggar), 289.
Miersite (min. nouv.) (L.-J. Spencer), 176.
Mossite (W.-C. Brogger), 179.
Muscovite (Montrambert) (G. Friedel), 135.

N

Néphéline (Monastery) (A. Lacroix), 25.
Neptunite (Groënland) (Pisani), 32.
Nitrate de baryte (an. opt.) (Wallerant), 228.
Nitrate de plomb (an. opt.) (Wallerant), 228.

Digitized by Google

Notice nécrologique de Schrauf (Wyrouboff), 256.

O

Oligoclase (spect.) (de Gramont), 116.
— (dét. op.) (Wallerant).
Oligiste (spect.) (de Gramont), 126.
Orthose (spect.) — 113.
— (dét. opt.) (Wallerant), 270.

P

Parisite (Groenland) (Pisani), 32 et 267.
Pépite (struct.) (Liversidge), 183.
Périclase (synth.) (A. de Schulter), 87.
Péridotite (Monastery) (A. Lacroix), 26.
Péristérite (spect.) (de Gramont), 116.
Perowskite (Monastery) (A. Lacroix), 23.
Pétalite (spect.) (de Gramont), 118.
Phénacite (Kragerö) (Pisani), 267.
Phosphate d'urane (L. Bourgeois), 32.
Planoferrite (min. nouv.) (Darapsky), 280.
Pollux (spect.) (de Gramont), 118.
Polymorphisme (Wallerant), 118 et 230.
Potassium (spect.) (de Gramont), 230.
Prehnite (dét.) (A. Lacroix), 277.
Pseudomorphoses (Miers), 265.
Pyrénéite (an. opt.) (Wallerant), 250.

R

Réfringence (feldspaths) (Wallerant).
— (Wollastonite) (A. Lacroix), 272.
Rhodonite (spect.) (de Gramont), 120.
Rinkite (Groenland) (Pisani).
Rubidium (spect.) (de Gramont), 104.

S

Saphir (Montana), 266.
Schrauf (Notice sur) (G. Wyrouboff), 256.
Sel gemme (Salies-du-Salat) (A. Lacroix), 29.
Senaite (min nouv.) (E. Hussak et G.-T. Prior).
Sidérochrome (spect.) (de Gramont), 127.
Silicates (spect.) (de Gramont), 113.
Sodium (spect.) (de Gramont), 103.
Spectre (corps simples) (de Gramont), 100.
— (min.) (de Gramont), 100.
Sphène (spect.) (de Gramont), 123.
Steenstrupite (Groenland) (Pisani), 32.
Strontium (spect.) (de Gramont), 101.
Structure (crist.) (Sollas), 264.
Sundtite (Prior et Spencer), 178.

T

Triphane (spect.) (de Gramont), 119.
Tripuhyte (min. nouv.) (Hussak et Prior), 86.

V W

Vaalite (Monastery) (A. Lacroix), 26.
Valléite (min. nouv.) (Cesaro), 134.
Vanadium (spect.) (de Gramont), 111.
Wawellite (Oubac) (Frossard), 89.
Webnerite (Prior et Spencer), 181.
Wolfsbergite (Penfield et Frenzel), 182.
Wollastonite (Quérigut) (A. Lacroix), 272.

Digitized by Google

Z

Zéolithes (eau des) (G. Friedel), 5.
Zircon (Monastery) (A. Lacroix), 23.
Zirconium (spect) (de Gramont), 101.
Zirkelite (E. Wadsworth), 181.
Zoisite (prop. opt.) (Termier), 148.
— (Alpes) — 165.
— (Clay Co) — 164.
— Conway — 162.
— Ductown — 157.
— (Gefrees) — 166.
— (Rauris) — 165.

Le Secrétaire, gérant,
Paul GAUBERT.

Tours. — Imprimerie Deslis Frères.

Digitized by Google

Digitized by Google

Publication mensuelle.

HARVARD UNIVERSITY
CAMBRIDGE, MASS.
Dept. of Mineralogy & Petrography.

N° 8 Décembre 1898 Tome XXI

BULLETIN

DE LA

SOCIÉTÉ FRANÇAISE

DE

MINÉRALOGIE

(ANCIENNE SOCIÉTÉ MINÉRALOGIQUE DE FRANCE)

Fondée le 21 Mars 1878

RECONNUE COMME ÉTABLISSEMENT D'UTILITÉ PUBLIQUE PAR DÉCRET DU 2 FÉVRIER 1886

PARIS

LIBRAIRIE POLYTECHNIQUE, BAUDRY ET Cie, ÉDITEURS

15, rue des Saints-Pères, 15

MAISON A LIÈGE, RUE DES DOMINICAINS, 7

1898

Digitized by Google

SOMMAIRE

	Pages.
Liste des membres de la Société	I
Compte rendu de la séance du 13 janvier 1898	1
LÉON BOURGEOIS. — Rapport du Trésorier	1
GEORGES FRIEDEL. — Sur l'eau des zéolithes	5
A. LACROIX. — Note sur les minéraux et les roches du gisement diamantifère de Monastery (État libre d'Orange) et sur ceux du Griqualand	21
A. LACROIX. — Sur le sel gemme métamorphique de Salies-du-Salat	29

Prière de s'adresser pour :

1° Tout ce qui concerne la rédaction du *Bulletin*, 2° Les changements d'adresse,	à M. le Secrétaire pour la France ;
Le paiement des *cotisations des membres* (1),	à M. le Trésorier ;
Les réclamations relatives à l'envoi des livraisons ; Les abonnements (*des personnes ou établissements qui ne sont pas membres*), La vente du *Bulletin*,	à MM. Baudry et Cie, libraires-éditeurs, 15, rue des Saints-Pères, Paris ;
Les échanges,	à M. l'Archiviste.

Secrétaire (pour la France) : M. P. GAUBERT, Laboratoire de Minéralogie du Muséum, 61, rue de Buffon.

Secrétaire (pour l'Étranger) : M. RICHARD, 73, rue du Cardinal-Lemoine.

Trésorier : M. L. BOURGEOIS, 1, boulevard Henri IV.

Archiviste : M. M. BLONDEL, Laboratoire de Minéralogie de la Sorbonne.

(1) Pour les sommes au-dessous de 50 francs, le mode d'envoi le plus économique est, en général, un mandat-carte français ou international.

Digitized by Google

Membres honoraires de la Société.

MM. Damour, — Fouqué, — Ch. Friedel, — N. von Lang, — N. S. Maskelyne, — N. E. Nordenskiöld, — Rammelsberg, — H. Rosenbusch, — A. Schrauf, — H. Topsöe, — G. Tschermak.

Composition du Bureau de la Société

Pour l'année 1898.

Président : M. Le Chatelier.
Vice-Présidents : MM. Wallerant, Cumenge.
Trésorier : M. L. Bourgeois.
Secrétaire pour la France : M. P. Gaubert.
Secrétaire pour l'Etranger : M. Ad. Richard.
Archiviste : M. M. Blondel.

Membres du Conseil.

MM. Bertrand, Carnot, Dufet, Hautefeuille, Termier, Wyrouboff.

Les **Séances** ordinaires de la Société ont lieu le **second Jeudi** de chaque mois, à quatre heures et demie, au Laboratoire de Minéralogie de la **Sorbonne**.

Dates des Séances en 1898.

Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Nov.	Déc.
13	10	10	14	12	9	9*	12	10

La cotisation annuelle, partant du 1er janvier de chaque année, pour tous les **Membres**, est de 20 francs.

La **cotisation annuelle** peut être remplacée par le **versement unique** d'une somme de 350 francs.

L'**abonnement annuel** au *Bulletin* pour les Bibliothèques est de 20 francs pour tous pays ; l'abonnement part toujours du 1er janvier.

Le prix de chacun des tomes de la collection des bulletins, de l'année 1878 (tome I) à 1894 (tome XVII), est de 15 francs ; celui des années 1895 à 1897 (tomes XVIII, XIX et XX) est de 20 francs. Le prix de la première table décennale est de 3 fr. 50.

Les Membres pourront, *sur leur demande personnelle*, acquérir *un exemplaire* de chacun des tomes avec une réduction de 5 francs sur chaque volume.

Pour devenir Membre de la Société, il faut être présenté par deux Membres. L'élection est mise à l'ordre du jour de la Séance [illegible] celle où la présentation a été faite.

[illegible] embres de la Société recevront un diplôme de sociétaire [illegible] mande adressée au Secrétaire. Le prix de ce diplôme est [illegible] cs.

[illegible] tive.

Digitized by Google

PRIX DES TIRAGES A PART *.

NOMBRE D'EXEMPLAIRES	25	50	100	200	300	400	500
8 pages	8 »	9 »	10 »	12 »	14 »	16 »	18 »
12 pages	9 50	11 »	13 »	17 »	21 »	25 »	29 »
16 pages	11 »	13 50	16 »	21 »	26 »	31 »	36 »
Couvert^re avec titre	5 »	5 50	6 50	8 50	10 50	12 50	14 50

Composition d'un grand titre, si le tirage à part n'a pas de couverture, 2 francs, brochage compris, port à la charge du destinataire.

TOURS. — IMPRIMERIE DESLIS FRÈRES, 6, RUE GAMBETTA.

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google